

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR FABRIKBETRIEB UND -AUTOMATISIERUNG IFF

12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE 16.-18. Juni 2009



Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme
6. Fachtagung zur Virtual Reality

12. IFF-Wissenschaftstage 2009

Tagungsband

Inhaltsverzeichnis

Digitale Prozessentwicklung und Digitale Fabrik

Training und Ausbildung

Werkzeuge und Technologien

Vorwort



Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h.
Michael Schenk
Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Foto: Berndt Liebl, IMG

Sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Partner und Freunde,

unsere internationale Konferenz mit Schwerpunkten zum Digital Engineering, zur Logistik und zur Robotik hat sich zu einem anerkannten Forum für Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik etabliert. Das Erfolgsrezept der IFF-Wissenschaftstage besteht einerseits aus der gelungenen Mischung von exzellenten Referenten, andererseits aus den spannenden Einblicken in aktuelle Forschungsaufgaben, die uns Wissenschaftler und ihre Industriepartner gewähren.

Viele hochkarätige Referenten haben uns Einblicke in ihre Erfolgsstrategien ermöglicht. Tagungsteilnehmer konnten von ihren Erfahrungen und Erkenntnissen nur profitieren.

Die 6. Fachtagung zur Virtuellen und Erweiterten Realität widmete sich insbesondere dem Automobil- und Maschinenbau: Im Fokus standen die Prozessketten, die Zulieferindustrie und Ausrüster mit den Schwerpunkten Engineering, Prozessgestaltung und -planung, Arbeits- und Betriebsorganisation unter Nutzung digitaler Technologien (Digitales Engineering). Die Bundesregierung hat mit der Gründung der Innovationsallianz »Virtuelle Techniken« den Forschungsschwerpunkt für Virtual und Augmented Reality in Magdeburg angesiedelt. Auf den 12. IFF-Wissenschaftstagen konnten Sie erfahren, wie die beteiligten Projektpartner gemeinsam die Technik der Zukunft entwickeln. Partner aus den BMBF-geförderten Projekten der Innovationsallianz »Virtuelle Techniken« AVILUS, AVILUSplus und ViERforES sowie dem Fraunhofer-Innovationscluster VIDET wurden in die Konferenz eingebunden.

Ich wünsche Ihnen eine inspirierende Lektüre und hoffe auf ein Wiedersehen zu den 13. IFF-Wissenschaftstagen in Magdeburg

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h.
Michael Schenk



Impulsvortrag

Digitales Engineering für Produkte und Prozesse der Zukunft

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Michael Schenk
Dipl.-Inf. Marco Schumann

Lebenslauf



Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h.
Michael Schenk

Institutsleiter

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb
und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 471
E-Mail: michael.schenk@iff.fraunhofer.de

1972 -1976	Studium der Mathematik an der Technischen Hochschule Magdeburg
1976 - 1977	IT-Manager in einem Großunternehmen der Armaturenindustrie
1983 - 1988	Promotion und Habilitation an der Fakultät Maschinenbau, TH Magdeburg, zum Dr.-Ing. und Dr. sc. techn.
1992 - 1994	Abteilungsleiter »Logistik und Produktions-prozesssteuerungssysteme«, Fraunhofer IFF
seit 1994	Institutsleiter, Fraunhofer IFF
2003	Berufung zum Universitätsprofessor, Lehrstuhl für »Logistische Systeme« an der OvGU
seit 2003	Bundesvereinigung Logistik e.V. (BVL), Juryvorsitzender Wissenschaftspreis Logistik
ab Oktober 2006	Geschäftsführender Institutsleiter des Instituts für Logistik und Materialflusstechnik an der OvGU
seit 2007	VDI-Landesverband Sachsen-Anhalt, Vorsitzender
Juni 2007	Verleihung der Ehrendoktorwürde der Staatlichen Technischen Universität Moskau
seit 2008	Bundesvereinigung Logistik e.V. (BVL), Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates
September 2008	Verleihung der Ehrendoktorwürde der Polytechnischen Universität Odessa
seit 2009	VDI e.V., Vorsitzender des Regionalbeirats und Mitglied des Präsidiums

Lebenslauf



Dipl.-Inf. Marco Schumann

Geschäftsstellenleiter ViVERA/AVILUSplus

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb
und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 158
E-Mail: marco.schumann@iff.fraunhofer.de

1991 - 1998	Studium der Informatik, Vertiefungsrichtung Computersimulation und Graphik, Nebenfach Betriebswirtschaftslehre an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
1995 - 1996	Auslandsaufenthalt an der University of Wisconsin, Stevens Point / USA
1998 - 2002	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IFF
2002 - 2004	Leiter Regionales Kompetenzzentrum Harz, Außenstelle des IFF in Wernigerode
2004	Leiter der Geschäftsstelle ViVERA am Fraunhofer IFF
seit 2008	Leiter der Geschäftsstelle ViVERA / AVILUSplus sowie Koordinator ViERforES am Fraunhofer IFF

Digitales Engineering für Produkte und Prozesse der Zukunft

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Michael Schenk, Dipl.-Inf. Marco Schumann

1. Motivation

Ein Markenzeichen deutscher Unternehmen im globalen Wettbewerb ist die Fähigkeit, hochkomplexe Produkte zu entwickeln, herzustellen und zu betreiben. Produkte des deutschen Maschinen-, Anlagen- und Fahrzeugbaus sowie der Energie- und Medizintechnik sind weit über die Ländergrenzen hinaus geschätzt. Gleichzeitig zählt Deutschland zu den Hochlohnländern. In diesem Umfeld hat sich die organisatorische Beherrschung und wirtschaftliche Effizienz technischer Prozesse immer mehr zu einem wesentlichen Erfolgsfaktor entwickelt. Besonders bedeutsam ist der Produktentwicklungs- bzw. Engineeringprozess. In dieser frühen Phase des Produktlebenszyklus werden alle wesentlichen Merkmale des künftigen Produktes sowie ca. 80% der Erzeugniskosten definiert.
Die Unterstützung des gesamten Produktentstehungsprozesses durch Virtuelle Techniken ist ein maßgeblicher Erfolgfaktor. In der Vergangenheit zeigte das der Einsatz der digitalen Werkzeuge. Das Potenzial der Virtuellen Techniken zur Unterstützung des Prozesses wurde in der letzten Zeit immer wieder klar herausgestellt. Hierbei spielen nicht nur finanzielle Betrachtungen eine Rolle, sondern die Verbesserung der Abläufe, die Beschleunigung entlang der Prozesskette. In vielen Fällen ist das Digital Engineering die einzige realistische Antwort auf wichtige Trends in der Industrie, etwa zunehmend individuelle Produkte, stärker dezentralisierte Wertschöpfungsketten, höhere Produkt-komplexität und -funktionalität sowie die notwendige Zeiteinsparung bis zur Markteinführung von Produkten.
Allerdings stoßen die bislang am Markt verfügbaren Softwareprodukte bei der realistischen Darstellung, der Verarbeitung großer Datenmengen, der natürlichen Interaktion in virtuellen Räumen, der echtzeitfähigen Simulation sowie geeigneten Eingabegeräten an ihre Grenzen. Eine vollständige virtuelle Darstellung eines komplexen Produktes oder einer kompletten Fabrik ist damit noch nicht möglich. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert daher innerhalb der Hightech-Strategie der Bundesregierung gezielt weitere Technologieverbünde zum Thema Virtuelle und Erweiterte Realität. Die in unterschiedlichen Programmen geförderten Projekte werden in der Innovationsallianz „Virtuelle Techniken“ zusammengefasst. Ziel der Innovationsallianz ist es, über Projektgrenzen hinweg die beteiligten Partner aus Industrie, kleinen und mittleren Unternehmen sowie Forschungsinstitute und Universitäten zu einem engen Erfahrungsaustausch zusammenzuführen. Dies verkürzt zum einen die Zeitspanne, in der neue Technologieentwicklungen aus dem akademischen Umfeld zu Innovationen in der Wirtschaft umgesetzt werden können. Anderseits eröffnet sich für die Anwender der Technologien frühzeitig die Möglichkeit, ihre Anforderungen und Erfahrungen an die Entwickler zu kommunizieren.

2. Forschungsverbünde AVILUS und AVILUSplus

Besonders deutlich wird dieser Ansatz der Innovationsallianz in der Kooperation der Projekte »Angewandte virtuelle Technologien im Produkt und Produktionsmittel-Lebenszyklus« (AVILUS) und »Angewandte virtuelle Technologien mit Langfristfokus im Produkt- und Produktionsmittel-Lebenszyklus« (AVILUSplus). Im Rahmen des Technologieverbundes AVILUS entwickelt ein

Konsortium von 28 Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft leistungsstarke Technologien im Kontext virtueller und erweiterter Realität.
Im Fokus des Projekts steht der Mensch. Er soll mit Hilfe virtueller Techniken in die gesamte Produktentwicklung eingebunden werden und Entscheidungen in unterschiedlichen Entwicklungsphasen deutlich schneller und zuverlässiger treffen können. Bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt soll der Entwickler die Rolle des späteren Nutzers oder Käufers einnehmen, um das virtuelle Produkt funktional bewerten und bei Bedarf optimieren zu können. Für die Lösung komplexerer Aufgabenstellungen müssen sowohl das virtuelle Produkt als auch seine Umgebung möglichst realitätsnah erleb- und bedienbar sein.
Um dieses Ziel zu erreichen, werden im Projekt AVILUS die Technologien zu den Themen Informationsmanagement, Darstellung virtueller Informationen, Trackingsysteme, Systeme zur Visualisierung (Renderer), mobile Informationsaufnahme und Anzeigegeräte sowie Erstellung und Verarbeitung von Informationen (Engineering und Autorensysteme) weiterentwickelt und ganzheitlich verknüpft.

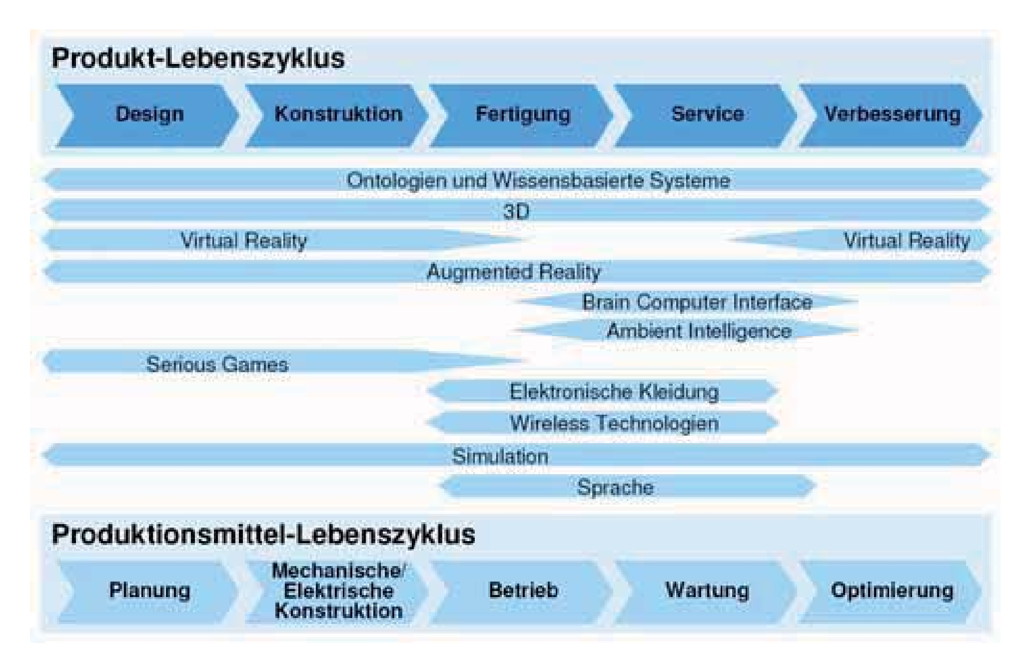


Abbildung 1: Einsatz produktivitätssteigernder Basistechnologien im Lebenszyklus, © Volkswagen Group

Die im Projekt adressierten inhaltlichen Schwerpunkte bilden jedoch nur einen Teil der Basistechnologien die aus Sicht der Industrie mittelfristig produktivitätssteigernd eingesetzt werden können. Eine Übersicht dieser Technologien und deren phasengerechte Zuordnung für das Arbeiten in digitalen und realen Umgebungen ist in Abbildung 1 dargestellt.
Die in AVILUS entstehenden Methoden und Technologien sollen dafür sorgen, virtuelle Technologien mit der realen Arbeitswelt in Deutschland zu verbinden. Sie sollen direkt und mit einem Zeithorizont von weniger als drei Jahren in den Arbeitsalltag integriert und anwendernah erprobt werden. Auszugsweise sind folgende geplante Anwendungen in den unterschiedlichen Teilprojekten zu nennen:

- Realistische Darstellung von Fahrzeugen in der frühen Entwicklungsphase unter Verzicht auf physische Prototypen
- Vergleich der digitalen Daten der Fertigungseinrichtungen mit den später realisierten Anlagen (Rückkopplung für die digitale Fabrik)
- Mitarbeiterunterstützung in der Kommissionierung oder im Service
- Produktpräsentation im Kundenumfeld.

Mit dem Start von AVILUS wurde schnell deutlich, dass auch ein Bedarf nach Technologien mit einem längerfristigen Forschungsbedarf über einen Zeithorizont von drei Jahren und mehr besteht. Da hier das Risiko für den wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Erfolg deutlich höher ist, haben sich für diese Aufgabe im Projekt AVILUSplus neun renommierte Forschungseinrichtungen mit einem Fokus auf Anwendungs- bzw. Grundlagenforschung zusammengeschlossen. Vorarbeiten bestanden hier durch das virtuelle Kompetenznetzwerk zur virtuellen und erweiterten Realität (ViVERA), deren Partner bereits auf eine erfolgreiche Zusammenarbeit auf diesem Gebiet zurückblicken können.

Die Teilprojekte von AVILUSplus entsprechen in ihren thematischen Schwerpunkten den von den AVILUS-Partnern vorgegebenen Technologien. In direkter Abstimmung mit den AVILUS-Partnern wurden ergänzende Forschungsarbeiten identifiziert, die ein hohes zukünftiges Einsatzpotenzial erwarten lassen.

Die Technologien in AVILUSplus sind fünf Themenschwerpunkten zugeordnet:

– Information im Produkt-Lebenszyklus-Management-Prozess:

Das Thema virtuelle Realität wird vorrangig mit der Vorstellung von visuellen Darstellungen verbunden. Darüber hinaus sind jedoch Informationen notwendig, die das Verhalten der virtuellen Objekte sowie die Reaktionen auf die Interaktion des Benutzers beschreiben. Um diese Informationen zu erfassen und zu beschreiben ist nach heutigem Stand der Technik ein aufwendiger Autorenprozess notwendig. Ein wesentliches Ziel der Technologieentwicklungen ist es deshalb, automatisierte Lösungen zu konzipieren, die in der Lage sind, multimediale Handlungsanleitungen zu erstellen. Zukünftig soll es möglich sein, anhand real durchgeführter Handlungsprozeduren virtuelle Abläufe automatisiert zu erstellen und damit den Entwicklungsaufwand deutlich zu reduzieren.

– Simulation und Rendering:

Inwieweit virtuelle Technologien produktiv einsetzbar sind und akzeptiert werden, hängt davon ab, wie realistisch, detailliert und physikalisch korrekt Simulationen von komplexen Modellen und von Objektverhalten in virtuellen oder teilweise realen Umgebungen dargestellt werden können. Dafür werden unter anderem Echtzeit-Simulationsverfahren für physikalisch korrektes Objektverhalten entwickelt. [Juh08] Um einen Produktionsprozess virtuell in Betrieb nehmen zu können, muss eine Lösung entwickelt werden, reale Steuerungskomponenten und virtuelle Szenarien zu verknüpfen. [Böh09, Ken07]
Für das Rendering bedeutet das, Produkte und ihre Eigenarten wie z.B. lackierte Flächen physikalisch korrekt und möglichst hochwertig wiederzugeben. Ziel ist eine insgesamt realistischere und detailreichere Bildberechnung, die durch Verwendung von spektralen Reflexionsdaten.

– Tracking:

Eine entscheidende Voraussetzung für die virtuelle und erweiterte Realität ist das „Tracking“, die Verfolgung von realen Objekten, um Informationen über den Verlauf ihrer Bewegung und ihrer Lage zu erhalten. Bisher arbeiten Tracking-Lösungen nur in speziell dafür markierten Umgebungen und unter eingeschränkten Beleuchtungsverhältnissen. Hier ist es ein wesentliches Ziel, insbesondere die Verfahren des markierungsfreien Trackings hinsichtlich ihrer Robustheit zu verbessern.
Hier werden Forschungsansätze zur Identifikation charakteristischer Bildmerkmale in einem 2D-Kamerabild [Hin08] untersucht. Für den industriellen Einsatz auf

unebenen Untergrund werden von Inertialsensoren gemessene Bewegungen (Verwackelungen) in die Bildauswertung einbezogen, um auf diese Weise die Genauigkeit zu erhöhen. [Wal09] In einem weiteren Teilprojekt werden sphärische Kameras verwendet, um gleichzeitig Navigation und Gestenerkennung durchführen zu können.

– Interaktion:

Im Bereich der Interaktionstechniken werden zwei Schwerpunkte verfolgt: Zum einen wird die Robustheit bekannter Interaktionstechniken erhöht. Zum anderen werden neuartige Eingabegeräte untersucht.

Für Augmented-Reality-Anwendungen auf Basis von See-Through-Brillen muss für jeden Benutzer eine individuelle Kalibrierung durchgeführt werden, damit die in der Brille sichtbaren Überlagerungen der Realität lagerichtig eingeblendet werden. Bisherige Kalibrierungsverfahren bestehen aus mehreren Schritten, in denen der Benutzer eine reale Markierung aus verschiedenen Positionen mit einer eingeblendeten Überlagerung in Übereinstimmung bringen muss. Im praktischen Einsatz ist dies recht zeitaufwändig, wenn die Kalibrierung oft zu wiederholen ist. Daher beschäftigt sich ein Teilprojekt innerhalb von AVILUSplus mit der Optimierung der Kalibrierung zu einem Ein-Schritt-Verfahren. Da werden verschiedene Kalibrierkörper getestet und die erreichbare Genauigkeit sowie der zeitliche Aufwand gegen das bisher verwendete Verfahren getestet. [Gru08] Abbildung 2 zeigt einen der verwendeten Kalibrierkörper.



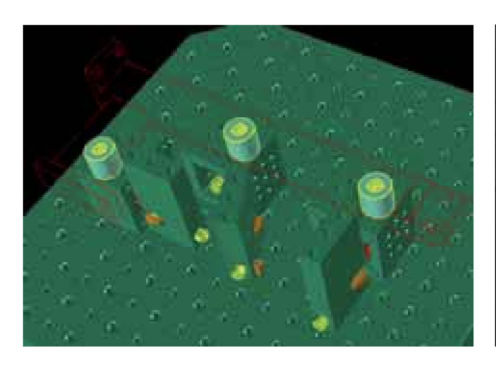
Abbildung 2: Prototyp eines Kalibrierkörpers für die Ein-Schritt-Kalibrierung

Erforscht werden auch komplett neue Möglichkeiten der Interaktion zwischen Mensch und realen oder virtuellen Objekten wie z.B. die Entwicklung einer taktilen Haut. Die taktile Haut besteht aus Schaumstoffzellen verschiedenster Größe und Dicke, die aufgrund ihres Aufbaus sowohl zur Ortsauflösung als auch als kraftmessende Einheit dienen kann. In zwei Szenarien wird die taktile Haut zum Verformen virtueller Objekte sowie für die Interaktion zwischen Mensch und Roboter eingesetzt.

In einem weiteren Teilprojekt werden Tangible User Interfaces betrachtet. Diese geben digitalen Funktionen und virtuellen Objekten eine physische Repräsentation. Es handelt sich um fühlbare Werkzeuge mit funktionsspezifischer Form, die Teile der Applikationslogik in sich tragen. [Kra07] Als potenzielle Anwendung wird das dreidimensionale Skizzieren in der Produktentstehungsphase untersucht.

– Geometrieerfassung:

Insbesondere um Planungsfehler bei der Überlagerung von CAD-Daten und realen Modellen aufzuspüren, ist es notwendig, die Geometrie realer Objekte schnell und präzise erfassen zu können. Dabei liegen die Forschungsschwerpunkte auf 3D-Messverfahren, die mit Technologien der Erweiterten Realität kombiniert werden können.



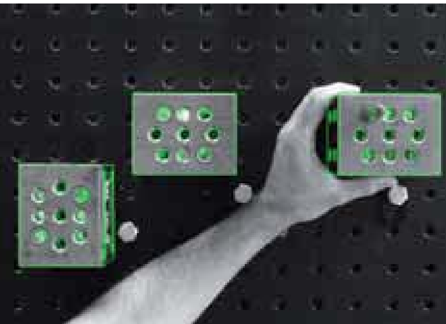


Abbildung 3: Links: Darstellung der extrahierten Teile einer komplexen 3-D-Szene. Die automatisch vorgeschlagenen Objekte für den nächsten Arbeitsschritt sind farblich hervorgehoben. Rechts: Lagekorrekte Überlagerung von CAD-Daten auf einem realen Kamerabild durch Positionserfassung der Kamera, Bildentzerrung und Rendering der Objekte.

Die „modellbasierte Objekterkennung und -überprüfung im Nahbereich“ soll neue Technologien zur Geometrieerfassung und deren Auswertung bieten. Dazu wird a priori Wissen in Form von aus der digitalen Fabrik zur Verfügung gestelltem Modellwissen (Sollinformationen) genutzt. Die zu entwickelnden Technologien nutzen erfasste Bilddaten und Positionsinformationen der zum Einsatz kommenden Aufnahmekameras. Am Beispiel der Werkerassistenz in der variantenreichen Montage ist sowohl eine lagekorrekte Einblendung von Modellinformationen als auch eine Überprüfung jedes einzelnen Montageschrittes möglich. Damit lässt sich z.B. der korrekte Ablauf eines Wartungs- oder Montagevorgangs testen, um bei fehlerhaften Arbeitsschritten ein Warnsignal zu geben.

3. Virtuelle und Erweiterte Realität für höchste Sicherheit und Zuverlässigkeit von Eingebetteten Systemen

Das Verbundprojekt »Virtuelle und Erweiterte Realität für höchste Sicherheit und Zuverlässigkeit von Eingebetteten Systemen« (ViERforES) ist ein weiterer Bestandteil der Innovationsallianz „Virtuelle Techniken“.

Computertechnik bestimmt heute unseren Alltag. Zunehmend steuern und überwachen „Embedded Systems“ Geräte, die wir täglich ganz selbstverständlich nutzen. Der Anteil von Produkten, die „Embedded Systems“ enthalten, liegt in Deutschland heute bei ca. 80% der gesamten Wertschöpfung. Um sich im internationalen Wettbewerb behaupten zu können, setzen deutsche Unternehmen in diesem Bereich verstärkt auf virtuelle Technologien, um den Forderungen nach Einsparungen sowie immer kürzeren Entwicklungs- und Erprobungszeiten bei gleichzeitig wachsenden Ansprüchen an Funktionalität und individuelle Gestaltung eines Produkts gerecht zu werden.
Mit der Komplexität der Systeme steigen auch die Ansprüche an Sicherheit, Verfügbarkeit oder Zuverlässigkeit, also an Eigenschaften, die keine physische Realität besitzen. Im Projekt VIERforES werden Konzepte entwickelt, die Herstellern helfen sollen, ihre Produkte in dieser Hinsicht zu optimieren. Was normalerweise nicht sichtbar ist, soll im virtuellen Raum Gestalt annehmen und

veranschaulichen, wie sich die in Maschinen und Geräten integrierte Software verhält.

Bei vielen Systemen werden Sicherheit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit über die Software gesteuert. Um diese Eigenschaften bei der Produktentwicklung, beim Test und in der Betriebsphase sicher zu stellen, sind virtuelle Techniken mit unterschiedlichen Ausprägungen miteinander zu verbinden. Das sind zum einen die bereits bekannten auf virtuellen 3D-Modellen basierenden Darstellungen von realen Produkten und zum anderen neue, leicht erlernbare und/oder intuitiv verständliche Visualisierungen für die Eigenschaften ohne physische Entsprechung.

Der ausgeprägte Gesichtssinn des Menschen gestattet es, einen schnellen Überblick über komplexe Informationen zu gewinnen. Wichtige Inhalte werden so „auf einen Blick“ erkennbar, Unwichtiges wird unmittelbar verworfen. Gerade diese offensichtliche Begabung des Menschen lässt es sinnvoll erscheinen, den Gesichtsinn zur Auswertung von wichtigen Daten zu verwenden. Dazu gilt es insbesondere zu klären, wie sich nicht gegenständliche Informationen (wie Sicherheit und Zuverlässigkeit) so darstellen lassen, dass sie mittels der virtuellen und erweiterten Realität unmissverständlich wahrnehmbar sind.

Heute sind „Embedded Systems“ praktisch niemals sogenannte „Stand-alone“-Systeme. Vielmehr sind sie auf verschiedenen Ebenen in Kommunikationsbeziehungen zu mechanischen, hydraulischen, pneumatischen, elektronischen oder informationstechnischen Systemen eingebunden. Sie bestimmen in hohem Maße die Eigenschaften Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit und sind ein entscheidender Wettbewerbsfaktor für die Branchen Fahrzeug-, Medizin-, Energie-, Produktions- und Materialflusstechnik.

Die Arbeiten in ViERforES fokussieren auf fünf Anwendungsbereiche:

– Produktionstechnik:

Produktionsprozesse werden zunehmend flexibler gestaltet. Damit Mensch und Roboter interagieren können, muss sichergestellt sein, dass dabei keine Person verletzt wird. Neben sicheren Robotersteuerungen bedarf es einer Technologie, die Personen und deren Bewegungen im Arbeitsraum des Roboters zuverlässig erfasst. Hierzu ist eine komplexe Multisensorik bestehend z.B. aus Laserscannern, Ultraschallsensoren, taktilen Sensoren, Thermo- und PMD-Kameras notwendig. Die einzelnen Sensorsysteme sind „Embedded Systems“, die nach festen Zeitvorgaben kommunizieren und nicht eindeutige Situationen erkennen sollen. Virtuelle Technologien sollen die jeweilige Situation intuitiv erfassbar darstellen und Gefahrenpotentiale aufzeigen.

– Materialflusstechnik/Logistik:

In der internationalen Logistik laufen Arbeitsprozesse und Kommunikation weitgehend virtualisiert und automatisiert ab. Mit der Automatisierung steigt das Fehlerrisiko. Wenn z.B. der Inhalt eines geschlossenen Behälters mit Funksensoren identifiziert wird, spart das zwar Zeit, reduziert aber die Möglichkeit, auf eine eventuelle Abweichung zum Sollzustand der Ware zu reagieren. Die Systeme versuchen das Problem selbststeuernd zu lösen bis eine vordefinierte kritische Stufe erreicht wird. Erst dann wird die Person im Leitstand, am Betriebsmittel oder an der Ware informiert. Zukünftig soll die Entscheidungssituation visualisiert werden, die z.B. auch die Unsicherheiten der verwendeten Funksensor-Verfahren und der lokalen Logiken der „Embedded Systems“ berücksichtigt. Dabei sind alle verfügbaren Prozessdaten wie z.B.

Auftrag, Intralogistik und Verkehrsmanagement am mobilen Objekt und am Leitstand anzubieten, um den autonomen Logistikprozess überwachen zu können.

– Medizintechnik:

In diesem Bereich sollen virtuelle Technologien die Versorgungsqualität bei minimalinvasiven Operationen sicherstellen. Damit sollen leistungsfähige Trainingssysteme für die Ausbildung von Chirurgen sowie perspektivisch intelligente Operationsinstrumente entwickelt werden. Die virtuellen Technologien sorgen für ein realitätsnahes „Erleben“ der simulierten Operation. Ausgehend von präoperativen Schnittbildern (CT, MRT) sollen beliebige Schnittebenen in Abhängigkeit der Blickrichtung und Position des Nutzers visualisiert und über geeignete Displays der realen Szene überlagert werden.

– Energietechnik:

Neue, virtuelle Technologien sollen den Betreibern von elektrischen Netzen und Energiewandlungsanlagen ermöglichen, Informationen zu visualisieren, um damit ihre Anlagen umfassend überwachen, Fehler rechtzeitig erkennen und gegebenenfalls notwendige Instandhaltungsmaßnahmen einleiten zu können.

– Fahrzeugtechnik:

Um komplexe sicherheitstechnische Fragestellungen, die sich im Fahrzeugbereich aus dem massiven Einsatz von embedded controllern ergeben, beantworten zu können, sollen neuartige Methoden und Verfahren an der Schnittstelle zwischen Mechatronik, Software Engineering und virtuellen Technologien entwickelt werden. Damit sollen in diesen Systemen Sicherheit und Zuverlässigkeit nicht nur bewertet, sondern auch frühzeitig in den Entwurfsprozess einbezogen werden können.

4. Literatur

[Böh09] Böhme, T.; Kennel, M.; Schumann, M.; Winge, A.: Automatisierte Erstellung domänenübergreifender Modelle und echtzeitfähige Kopplung von Simulation, Visualisierung und realen Steuerungen, 8. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 28./29.Mai 2009, Paderborn.

[Gru08] Grubert, J.; Tümler, J.; Mecke, R.: Untersuchungen zur Optimierung der See Through Kalibrierung für mobile Augmented Reality Assistenzsysteme. In: Forschung vernetzen, Innovationen beschleunigen – wissenschaftliches Kolloquium. Fraunhofer IFF Magdeburg, Germany, 2008

[Hin08] Hinterstoisser, S.; Benhimane, S.; Lepetit, V.; Fua, P.; Navab, N.: Simultaneous Recognition and Homography Extraction of Local Patches with a Simple Linear Classifier British Machine Vision Conference (BMVC), Leeds (UK), September 1-4, 2008

[Juh08] Juhász, T.; Schmucker, U.: Automatic Model Conversion to Modelica for Dymola-based Mechatronic Simulation; In Modelica 2008 Proceedings, 6th International Modelica Conference, Modelica 2008, March 3rd-4th, 2008 University of Applied Sciences Bielefeld, Germany

[Ken07] Kennel, M.; Bayrhammer, E.: Eine Schnittstelle zur echtzeitfähigen Kopplung heterogener Simulations-, Steuerungs-, und Visualisierungsapplikationen; In Forschung vernetzen - Innovationen

beschleunigen 3./4. IFF-Kolloqium; 20. April und 28. September 2007, Magdeburg; ISBN: 978-3-8167-7557-7

[Kra07] Krause, F.-L.; Israel, J.H.; Neumann, J.; Feldmann-Wustefeld, T.: Usability of Hybrid, Physical and Virtual Objects for Basic Manipulation Tasks in Virtual Environments; In: Proceedings of the IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 2007, March 10-11, 2007, Charlotte, NC/USA, ISBN: 1-4244-0907-1

[Wal09] Walter, C.; Penzlin, F.; Elkmann, N.: Reducing Motion Artifacts in Mobile Vision Systems via Dynamic Filtering of Image Sequences; In Proceedings of the German Workshop on Robotics, Braunschweig, June 9-10, 2009.

5. Autoren

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. e. h. Michael Schenk
Institutsleiter

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb
und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 471
Telefax: 0391 4090 473
E-Mail: michael.schenk@iff.fraunhofer.de

Dipl.-Inf. Marco Schumann
Geschäftsstellenleiter ViVERA/AVILUSplus

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb
und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 158
Telefax: 0391 4090 115
E-Mail: marco.schumann@iff.fraunhofer.de

12. IFF-Wissenschaftstage

16.-18. Juni 2009



Impulsvortrag

Digitale Fabrik – Virtualität in realer Umgebung

Dipl.-Ing. Peter Claussen

Lebenslauf



Dipl.-Ing. Peter Claussen

Beratung für Systemische Prozess- und Organisationsgestaltung
Lehrbeauftragter. für Systemische Fabrik-planung und Fabrikbetrieb TU Dresden

Neuhäusl 1
93155 Hemau

Telefon: 09498 906 214
E-Mail: biz@claussenweb.de

1951	geboren in Wetzlar
1972	Maschinenbau-Studium an der TU München
1978	Eintritt in die BMW AG als Trainee
anschließend	Verschiedene Funktionen im Unternehmen:
1979	Motorenbau Werk München Leitung Mechanische Fertigung Aufbau Montagestrukturen Werk Regensburg
1986	Leitung Einrichtungstechnik, Steuerungstechnik und IT für den Bereich Montage und Leitung Vorrichtungsbau Werk Regensburg
	Projekte im Rahmen der Gestaltung von Produktionssystemen, Werksplanungen (Analyse Transplants USA, Planung Werk Wackersdorf)
1993	Werksprojektleitung 3er-Touring Werk Regensburg
1995	Leitung Karosseriebau Werk Regensburg
1998	England/Oxford: Beratung und Unterstützung bei Anlauf Rover 75 und Turnaround der Rover Group, Change Management
seit 2001	Leitung "Projekt Neues Werk" (Standortsuche, Planung, Aufbau und Inbetriebnahme) Leitung Werk Leipzig
seit 2/2009	Ruhestand und beratende Tätigkeiten

Arbeitsschwerpunkte:	Beratung und wissenschaftliche Arbeit im Themengebiet Organisations-u. Strategie-entwicklung, Fabrikplanung, Produktion BMW Foundation Initiative on Changing Behavior and Belief mit R. Sennett , C. Calhoun u. J. Chrobog Lehrbeauftragter an der TU Dresden (Systemische Fabrikplanung)

Digitale Fabrik - Virtualität in realer Umgebung

Dipl.-Ing. Peter Claussen

1. Einleitung

Die Entwicklung der Technologien, die wir zum Gebiet der ‚Virtual Reality' zählen, geht mit unverminderter Geschwindigkeit weiter und durchdringt immer weitere Gebiete. Ganze Filmproduktionen schöpfen ihre Wirkung aus den technischen Methoden und kurze Entwicklungszyklen komplexer Produkte z.B. in der Fahrzeugindustrie oder die Möglichkeiten von Zusammenarbeit am gleichen Objekt über weite Distanzen (bzw. im digitalen Raum sogar am selben Objekt) sind ohne digitale Repräsentationen kaum denkbar. Die Frage der durch VR Technologien induzierten Bedeutungsveränderung für Arbeitssysteme wird zunehmend häufiger Gegenstand der Diskussion. Sie ist zu stellen, um zu einem besseren Verständnis von Grenzen, Möglichkeiten und Risiken der aktuell zur Verfügung stehenden Technologien und denkbarer Entwicklungspfade zu kommen.

2. ‚Virtualität' und ‚Realität'

Bei der Einordnung der Technologien der digitalen Fabrik im Kontext sozialer Systeme ist eine Überlegung zu Bedeutung der Begriffe ‚Realität' und ‚Virtualität' angebracht. Der Begriff der *Virtualität* bezeichnet die Potentialität von Objekten, die physischen Objekten gleichen, aber in der physischen Welt nur als Repräsentation dieser Objekte existieren und als solche Wirkungen erzeugen.
Im Sinne oder in der Diktion des radikalen Konstruktivismus ist *Realität* eine subjektbezogene (Eigen-) Konstruktion des Beobachters. Die Ergebnisse der Neurowissenschaften zeigen z.B., dass die Zahl der Zellen im Gehirn, die die sensorischen Informationen verarbeiten und Wahrnehmung erzeugen um ein Vielfaches größer ist, als der Umfang der sensorischen Zellen lebender Systeme. Wahrnehmung entsteht aus der kontextabhängigen, hochkomplexen Verarbeitung, vergleichsweise weniger Eingangssignale in den Milliarden Zellen des Gehirns. Eine gleichartige Wahrnehmung der gesamten Außenwelt durch verschiedene Menschen ist damit nicht zu erwarten. Die vielen Rekursionen unterschiedlicher Hirnareale bei der Verarbeitung der externen Sinnesreize können eben nicht zu einer determinierten Verarbeitung führen, wie sie etwa der Vorstellung von Realität als einer direkten Abbildung von physischen Objekten zu Grunde liegt. So gesehen sind virtuelle Objekte der digitalen Fabrik also Teil der ‚Realität', aber ein Teil, der in einer determinierten Form Repräsentationen von physischen Objekten in anderen physischen Medien, i.A. digital, speichert und verfügbar macht.
Die philosophische Diskussion des Realitätsbegriffes soll an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden. Festzuhalten ist jedoch, dass ‚Virtualität' und ‚Realität' durchaus nicht als kontradiktorische oder polare, sonder als relative Gegensätze zu verstehen und entsprechend in ihrer Bedeutung zu erschließen sind. In diesem Kontext ist der Begriff der Immersion passfähig, da das ‚Eintauchen' in die virtuelle Welt letztlich eine graduelle Veränderung der Beobachtungsperspektive bei der Verarbeitung der immer selektiv wahrgenommenen Umweltsignale darstellt.

3. Umgang mit Komplexität

Ohne Frage sind schon die Entwicklung der Technologien und Methoden der digitalen Fabrik als auch die mit Hilfe von CA Werkzeugen entwickelten Produkte und Prozesse hoch komplex. Diese Komplexität stellt aber nur einen kleinen Ausschnitt aus der Komplexität der für Technologie-, Produkt- und Prozess-

entwicklung und den Betrieb der ‚realen Fabrik‘ relevanten Umwelt dar, die kontinuierlich be- und verarbeitet werden muss.
Es geht also ständig darum, die Chancen zur erfolgreichen Bearbeitung einer unendlich vielfältigen Umwelt zu erhöhen. Der Zusammenschluss zu sozialen Systemen, also zu Gruppen und Organisationen, die ein Mehr an Wahrnehmung und Verarbeitung durch Entscheidung erlauben, als es einem Einzelnen möglich ist, gehört zu den Erfolgsrezepten der Evolution. Allerdings hat auch dieser Erfolg seinen Preis: Die Eigenkomplexität sozialer Systeme muss beobachtet, verstanden und verarbeitet werden - und dieses Unterfangen erscheint häufig schwieriger, als die Lösung fachlicher technischer Probleme.

4. Soziale und technische Systeme

Eine systemorientierte Perspektive kann bei der Durchdringung der Zusammenhänge zwischen technischen und sozialen Systemen sehr fruchtbar sein. Die im kybernetischen Sinne „triviale Maschine“[1] der technischen Fabrikstruktur wird unter Einbeziehung der sie entwickelnden und betreibenden Menschen zu einem kybernetischen System 2. Ordnung (vgl. von Foerster 2006; von Foerster, Bröcker 2007), das sich aus den (Rück-) Kopplungseffekten zwischen technischem und sozialem System einerseits und der Umwelt andererseits ergibt und in seinem Verhalten nicht prognostizierbar ist.
Während die für die digitale Fabrik entwickelten und zur Verfügung stehenden Technologien und Systeme deterministisch sind, sind soziale Systeme nicht determinierbar. Sie konstituieren sich durch die Operation Kommunikation, wobei Kommunikation ist hier nicht nur im umgangssprachlichen Kontext zu verstehen, sondern abstrakt als Interaktion von zwei oder mehreren Elementen eines sozialen Systems oder Subsystems. Ziel von Kommunikation ist es, Information im Partnerelement/-system entstehen zu lassen. Dafür werden in technischen, wie biologischen wie sozialen Systemen unterschiedlichste Übertragungsmedien und –verfahren (Schall, elektromagnetische Strahlung, Gradient der Stoffkonzentration, Volumenstrom, Farbwechsel…) genutzt. In der neueren Systemtheorie wird der Begriff Kommunikation ausschließlich als Interaktion in sozialen Systemen verstanden, die im Medium Sprache, aber auch in symbolisierter Form, z.B. auch durch Prozessabläufe, Organisation, Privilegienstrukturen dargestellt werden kann und sich nicht ausschließlich auf die momentanen Äußerung der Menschen beschränkt. Kommunikation entsteht, wenn eine

(1) Information
(2) mitgeteilt (Mitteilungshandeln) und
(3) verstanden

wird. Die Unterscheidung zwischen Information und Mitteilung setzt die Existenz einer Operation voraus, die diese Unterscheidung ermöglicht - z.B. der Erwerb von Erfahrungen.
Die Kommunikation kann die Seite der Information oder die Seite der Mitteilung stärker fokussieren, sie kann also Inhalt oder Motiv betreffen oder auch beides (was hast Du gesagt, warum hast Du es gesagt). Die inhaltliche Seite referenziert auf das, was nicht zum System gehört (Fremdreferenz), die Mitteilungsseite referenziert auf das System selbst.
Es entsteht also eine ineinander verzahnte Kommunikation (ein ‚doppelter Interakt‘ in der Terminologie der neueren Systemtheorie). Wenn diese sich kontinuiert, also ein Kommunikationsereignis an das nächste anschließt und auf ihm aufbaut, kon-

[1] Triviale Maschinen sind synthetisch determinierte, in ihrem Verhalten von der Vergangenheit unabhängige, analytisch bestimmbare und voraussagbare Systeme (Vgl. auch Ashby 1957)

stituiert sie ein soziales System. Dieses Anschließen bedeutet, dass *die Kommunikation auf sich selber referenziert* (Autopoiese). Das soziale System existiert, solange anschlussfähig kommuniziert wird (vgl. Luhmann 2006b; Luhmann 2006a;Simon 2007).
Soziale Systeme sind in ihrer Kommunikation operational geschlossen, d.h. Informationen aus der Umwelt (von Luhmann als Umweltirritationen bezeichnet) gelangen nur durch die strukturell gekoppelten, hochgradig selektiven Teilsysteme der biologischen lebenden Struktur und der Psyche in die Kommunikation sozialer Systeme. Nur was im System kommuniziert wird, ist für das sozialoe System existent.
Wie die psychischen operieren soziale Systeme im Medium Sinn, wobei dieser Begriff nicht normativ verstanden werden darf.

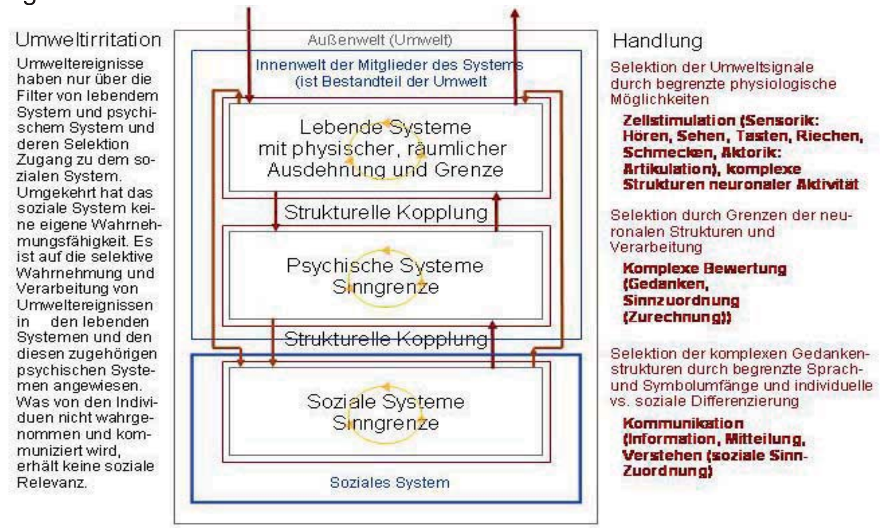


Abbildung 1:Definition und Struktur sozialer Systeme nach N. Luhmann

Information ist nur dann eine Information, wenn sie für das System eine Überraschung, also eine Neuigkeit darstellt. Dabei entscheidet das System entsprechend der von ihm konstituierten Sinnzuweisung, ob eine Differenz zwischen Erwartetem und Erhaltenem besteht. Stellt die Information eine Neuigkeit dar, kann sie die Struktur des Systems verändern. Sie ist dann „a difference, which makes a difference" , ein Unterschied, der später einen Unterschied bewirkt (s. Bateson 2000, S. 462–463).
Damit sind für die Anwendung der Methoden und Technologien der ‚Digitalen Fabrik' und die dabei entstehende Kopplung technischer und sozialer Systeme fünf wesentliche Parameter zu beachten:

1. Realität ist eine ‚Konstruktionsleistung' des strukturell mit dem hochgradig selektiven biologischen System gekoppelten psychischen Systems und ist damit dem Subjekt zuzurechnen
2. Nur Kommunikation konstituiert soziale Systeme
3. Umweltbezüge, also auch Wahrnehmungen zu Technologien, werden ausschließlich über die Mitglieder des sozialen Systems, in dieses transportiert und dort mit dem einzig zur Verfügung stehenden Operator – Kommunikation – bearbeitet
4.Soziale wie psychische Systeme sind Sinnsysteme. Informationen werden nur dann als neu selektiert (und damit beachtet) wenn es zu dieser Information einen abweichenden Erwartungswert gibt
5.Technik als Artefakt gehört für das soziale System zur inneren Umwelt und ihre Einordnung in die Sinnstruktur eines sozialen Systems entsteht ausschließlich in der Kommunikation des sozialen Systems, das dieses Artefakt wahrgenommen und die Information selektiert hat.

5. Voraussetzungen für Akzeptanz und Nutzen der Werkzeuge und Methoden der ‚digitalen Fabrik’

Aus einer systemtheoretischen Perspektive betrachtet, stellt eine Fabrik eine Kopplung von sozialem und technischem System dar. Beide Teilsysteme bestehen im Allgemeinen aus mehreren Subsystemen. Die ‚digitale Fabrik‘ kann zum Beispiel als Subsystem des technischen Systems aufgefasst werden, das sowohl mit anderen technischen Subsystemen als auch mit verschiedenen Subsystemen des sozialen Systems gekoppelt ist.

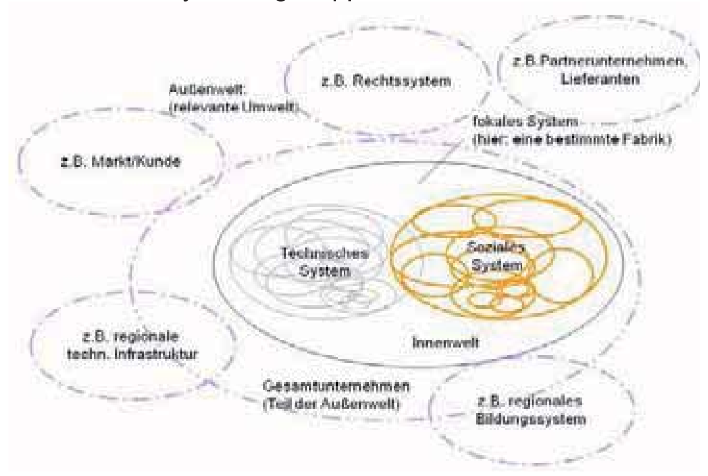


Abbildung 2 :Fabrik als System

Wichtig ist die Erkenntnis, dass eine Organisation als soziales System i. A. aus Teilsystemen besteht, die wiederum differenzierte Sinnsysteme entwickeln, Die Aufgabe von Führung in einer Organisation ist es damit u.a,, in der Kommunikation zwischen den Subsystemen zu einem Abgleich der Sinnstrukturen für das Gesamtsysteme zu kommen.
In dem permanenten Strom von kleinen und größeren Veränderungen und Anpassungsleistungen in einer Fabrik, haben Veränderungen, die durch die Einführung oder Anwendung der Methoden und Technologien der digitalen Fabrik induziert sind, eine gewichtige Bedeutung. Da der Umfang der in der ‚digitalen Fabrik‘ als Gesamtmodell dynamisch darstellbaren Prozesse in der Vernetzung von Produkt, Gebäuden, Materialfluss, Fertigungsanlagen, Werkzeugen, Hilfsmitteln und anderen Komponenten ständig zunimmt, sind die Auswirkungen von Entscheidungen, die auf der Basis von Darstellungen der ‚digitalen Fabrik‘ getroffen werden, u.U. sehr weitreichend für die betroffenen sozialen Subsysteme. Sie betreffen ihre zeitlichen und inhaltlichen Dispositionsspielräume und u.U. ihre Funktion (und damit auch Machtfaktoren). Entsprechend intensiv sind die Wirkungen in den psychischen Systemen der Beteiligten, wenn die soziale und materielle Basis als bedroht empfunden wird.
Dank verbesserter Informationstechnologien haben seit den 1970er Jahren der Gestaltungsraum, die Überschaubarkeit der Wirkungen im Gesamtsystem und damit auch die Autarkie von Arbeitsgruppen deutlich zugenommen. In der intensiven Vernetzung flexibler Fertigungsstrukuren, der abnehmenden Lead Time und der Vernetzung mit einer globalen Supply Chain wird es jedoch für die sozialen Subsysteme und erst Recht für den Einzelnen immer schwieriger, den Gesamtzusammenhang, in dem sein Handeln steht, zu verstehen.
Ein solches Gesamtverständnis ist aber Voraussetzung für autarkes Handeln im Sinne der Gesamtorganisation wie auch für die Akzeptanz von Einschränkungen dieser Autarkie, also für subsidiäres Handeln. Es basiert aber nicht nur auf *Informationen* über technische und logistische Fakten, sondern ganz wesentlich auf *geteilten Grundüberzeugungen*.Diese entstehen nur aus Kommunikation und gemeinsamem Erleben und werden so als Sinnstruktur zum Fundament von sozia-

len Systemen. Umgekehrt werden gefestigte Sinnstrukturen aber auch zum Bollwerk gegen Veränderungen. Voraussetzung von Veränderungen in einem sozialen System ist immer, dass diese sich im gemeinsamen Erleben bewähren oder die Wahrscheinlichkeit als groß erachtet wird, dass sie sich bewähren werden. Ohne intensive Kommunikation kann für nicht triviale Veränderungen aber nicht erkundet werden, wie diese einzuschätzen ist.
Es ist ein Element des Sicherheitsbedürfnisses und damit von existentieller Bedeutung, dass Menschen beobachten, was in der Welt passiert und dafür Erklärungen suchen. Was nicht beobachtbar ist, wird dabei durch eigene Konstruktion, sprich Phantasie, ersetzt. Daher sind gerade in einem Veränderungsprozess, zu dem der Einsatz neuer Technologien mit der Folge neuer Aufgabenstrukturen (und neuer Machtverteilung) gehört, Partizipation, Transparenz und Offenheit Grundvoraussetzung für Erfolg. Es gilt die alte Weisheit, dass aus Betroffenen Beteiligte werden müssen (Prinzip der Partizipation). Mit der reinen Mitteilung von Entscheidungen oder von Ergebnissen, die Andere erarbeitet haben, kann aber weder Committment noch Unterstützung entstehen.

6. Anforderungen zur Integration der ‚digitalen' in die ‚reale' Fabrik

Für die Integration der Werkzeuge und Methoden der ‚digitalen Fabrik' in die reale Fabrik lassen sich zwei Handlungsebenen ausmachen.
Wie alle anderen Prozesse der Fabrik, müssen die der ‚digitalen Fabrik' auf dem Fundament gemeinsam erarbeiteter Grundüberzeugungen hinsichtlich ihrer Bedeutung für das Ganze und den Einzelnen diskutiert und verstanden werden. Verständnis ist ein hierbei ein Produkt des sozialen Systems, über dessen normative Skalierung es ausschließlich selbst befindet. Es kann aus der Sicht eines externen Beobachters daher auch ein schwer zu akzeptierendes „Unverständnis" zu verschiedenen Elementen sein, das hier erzeugt wird. Nur wer durch Integration in sein Kommunikationsgeschehen Teil des Systems wird, kann die Bedeutungszuschreibungen mit beeinflussen, muss aber dann auch die innere Logik des Kommunikationsprozesses hinsichtlich des Zeitbedarfs für die Überprüfungsroutinen akzeptieren. ‚Ansagen' von außen sind hier eher kontraproduktiv. Vielmehr ist es ‚sinnvoll', eine methodisch geplante Folge von Schritten in diesem hinsichtlich der Ergebnisse nicht prognostizierbaren und nicht determinierbaren Prozess (vgl. Wimmer 1999) zu wählen. Dabei müssen sowohl die Frage der Bedeutung von Ereignissen und Vorgehensweisen der Vergangenheit reflektiert, als auch ein Zukunftsbild entworfen werden, um dann die Abfolge der als sinnhaft erachteten Schritte zwischen dem Status quo und der angestrebten Zukunft zu beschreiben und schließlich in Handlung umzusetzen. Hierzu hat sich eine Vorgehensweise bewährt, zunächst und als Grundlage für die im System festgelegten Handlungsschritte – die Wegbeschreibung (‚Strategie') - ein gemeinsames Bild zu den erforderlichen Prozessen der Fabrik zu beschreiben und darauf aufbauend Rollenbeschreibungen anzufertigen. Der Rollenbegriff verdeutlicht, dass dem Rolleninhaber eine Rollenerwartung gegenübersteht, die unabhängig von der Person, die die Rolle ausfüllt, besteht. Über die Diskussion der Spielregeln, deren Einhaltung von den Trägern der verschiedenen Rollen erwartet wird, können dann die Wertvorstellungen der Beteiligten explizit gemacht und abgeglichen werden. Diese werden so zu einem Bestandteil der gemeinsamen Grundüberzeugungen. Hier sind dann auch der Fragen zum Umgang mit den Werkzeugen der ‚digitalen Fabrik' zu verorten: Wer verantwortet den Werkzeugeinsatz und die Qualität des Outputs? Wieweit will die Gruppe sich auf die Ergebnisse stützen (determiniert der Output der Maschine die Entscheidungen oder sind zusätzliche Perspektiven erlaubt und erwünscht)? Wo sollen welche Werkzeuge eingesetzt werden? In welchem Prozess werden die Ergebnisse gemeinsam bewertet?
Auf der zweiten Ebene ist die Passfähigkeit der Werkzeuge an sich zu bearbeiten. Es ist evident, dass die (innere) Distanz zu Werkzeugen, die in der eigenen Hand liegen und die man sich angeeignet hat, geringere ist als gegenüber denen, die

von Anderen gehandhabt werden oder wegen ihrer Komplexität von Anderen gehandhabt werden müssen. Wo immer möglich, sollten die Werkzeuge der ‚digitalen Fabrik' in ihrem Interface für den Nutzer daher so gestaltet werden, dass Handhabung und Ergebnisdarstellung nicht an Experten delegiert werden müssen. Ist die Einschaltung des Experten notwendig, muss er sich als Teil des Systems integrieren.
Verschiedene Technologien der ‚Virtual Reality' zielen auf Immersion ab, also einen Zustand, bei der der Nutzer dieser Technologien zunehmend tiefer in die virtuelle Welt eintaucht. Im Game Design ist dies ein z.T. klar erkennbares Entwicklungsziel. Hier wird die Tiefe des Eintauchens in die virtuelle Welt in verschiedenen Stufen beschrieben, beginnend von der externen Perspektive, in der der Spieler sich als Benutzer einer Spieles sieht, über die Stufe der Avatare, in der der Spieler eine Repräsentanz seiner selbst im Spiel wahrnimmt bis zur vollen Identifikation, bei der der das Spiel zur Welt an sich wird. In diesem Zustand ersetzt der Determinismus der virtuellen Welt die Kontingenz der Welt: Es ist wohl alles erscheint als gestaltbar und der Weg für entsprechende Allmachtphantasien ist geebnet. Dies kann sicher nicht das Ziel der Entwicklung in der digitalen Fabrik sein. Hilfreich und wünschenswert wäre aber ein verbesserter, einfacherer Zugang zur Handhabung digitaler Repräsentationen, bei denen das Zwischenschalten eines Experte überflüssig wird..
Gerade bei der Nutzung komplexer Tools, die für die Anwender den Charakter einer Black Box haben, sollten die Anwender die Möglichkeit bekommen, die Transformation von Input zu Output anhand ihrer Erfahrung auf Plausibilität zu prüfen und damit Vertrauen in die Qualität des Werkzeugs aufzubauen. Auch bei einer Bedienung durch Experten muss der entsprechende Zeitaufwand für ein ‚spielen' mit dem System investiert und Transparenz zur Funktionsweise des Systems hergestellt werden. Insbesondere die Überprüfung von Ergebnissen anhand von Ist Daten der Vergangenheit ist geeignet, Zweifel an der Zuverlässigkeit zu minimieren und den Verdacht von Manipulation und das Gefühl, nicht durchschaubarer Technik ausgeliefert zu sein gar nicht erst entstehen zu lassen.

7. Umsetzungsbeispiele

Werden die o.g. genannten Kriterien berücksichtigt, steigen die Chancen beträchtlich, dass die ‚digitale Fabrik' zu einem akzeptierten und von den unterschiedlichsten Gruppen nachgefragten Werkzeug zur Reduzierung von Aufwand und Verbesserung der Produkte und Prozesse sowohl bei der Einführung neuer Produkte als auch bei der Optimierung im Tagesgeschehen wird. Themenfelder, die z.B. in der BMW Fabrik in Leipzig mit Hilfe dieser Werkzeuge bearbeitet werden sind in Abb.3 dargestellt. Einige Beispiele und Anmerkungen mögen die systemische Perspektive verdeutlichen.
1.Betreibersimulation
Die Kombination der Ablaufsimulation mit der Rückführung von Realdaten der OEE kann als Beispiel für die Aneignung eines ursprünglich von Experten geführten Systems durch die Nutzer dienen. Alle Produktions- und Förderanlagen des Werkes sind inder Ablaufsimulation abgebildet. Das Simulationstool greift zur Parametrierung auf reale Stördaten in beliebig definierbaren Zeiträumen zurück. Bedient wird das System über eine Intranet Oberfläche. In durch Real Time Simulationsläufe gestützten Diskussionen legen die Betreiber der Anlagen die gemeinsame Produktionsstrategie für die nächsten Stunden oder Tage fest, in dem sie erfahrungsbasierte Annahmen über eine sinnvolle Parametrierung mit Stördaten vorgeben und verschiedene Betriebszeitmodelle (soziozentriert) prüfen. Das Simulationstool zeigt sofort auf, ob die vorgeschlagene Produktionsstrategie mit den gegebenen technischen Randbedingungen umsetzbar ist und wo Engpässe

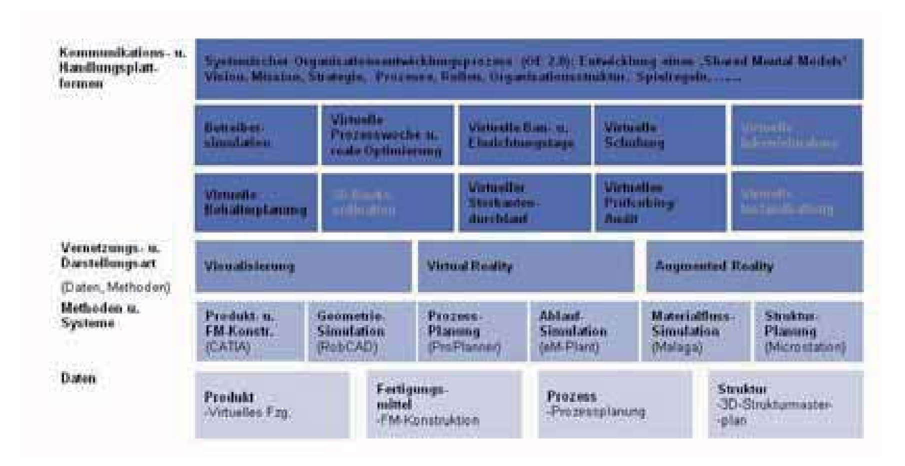


Abbildung 3 :Systemische Organisationsentwicklung zur Integration der ‚digitalen Fabrik' in die Fabrik (nach BMW AG, Werk Leipzig, Knau, J., Aghaei, F., 2006-2009, Digitale Fabrik im Werk Leipzig)

entstehen. Die in diesen Diskussionen getroffenen Vereinbarungen finden große Akzeptanz, selbst wenn im Einzelfall einzelne Produktionsgruppen zu Gunsten des größeren Ganzen eine aus ihrer Binnensicht ungünstige Vorgehensweise mit längerer Produktionszeit oder verschobenem Beginn umsetzen müssen. Die in diesem Prozess erzeugte Transparenz für den Gesamtzusammenhang ist die entscheidende Größe für breite Akzeptanz.

2. Virtuelle Prozesswoche und physische Optimierung

Mit dem Prozess der virtuellen Prozesswoche wird zu einem sehr frühen Zeitpunkt, sobald 3-D Daten des Produkts und der wesentlichen Fertigungsmittelkonzepte vorliegen, die Machbarkeit der Lösungen im VR Labor mit der Arbeitsgruppe des Produktionsbereichs diskutiert und mit Mitteln der AR geprüft. Damit kann auf das Erfahrungswissen der Praktiker zugegriffen werden und die Fertigungsmitarbeiter werden von Betroffenen zu Beteiligten des Entwicklungs- und Planungsprozesses. Nach der Optimierungsphase durch Produktentwicklung und Prozessplanung wird eine erste, auf der Logik der Fügefolgen basierenden Layoutplanung des Produktionsabschnitts und der Materialbereitstellung mit CA Tools erstellt.
Zur Detailgestaltung von Arbeitsplätzen und Prozessen bewährt es sich aber, gemeinsam mit der später verantwortlichen Arbeitsgruppe der Produktionsmitarbeiter eine provisorische Arbeitsplatzdarstellung mit Hilfe einfacher, aber physischer technischer Hilfsmittel bis hin zu Karton und Klebeband herzustellen, die zunächst von der Gruppe optimiert wird und erst danach mit 3-D Tools auskonstruiert wird.
Versuche mit Tools der AR im direkten Produktionsablauf zeigen, dass die Fertigungsmitarbeiter durchaus an diesen Werkzeugen interessiert sind, die ergonomischen Einschränkungen aber derzeit einen Produktiveinsatz noch nicht erlauben.

3. Daten- und Umsetzungsqualität

Generell ist ein durchgängiges Verständnis zur Sinnhaftigkeit der Werkzeuge und Prozesse bei allen Beteiligten Voraussetzung für die Verwendbarkeit der Ergebnisse der CA Werkzeuge. Am Beispiel der ‚Technischen Gebäudeausrüstung' ist dies nachzuvollziehen:
Die mit CA Methoden erarbeitete Planung zur Trassen- oder Einzelleitungsverlegung beschreibt den geometrischen Verlauf mit Toleranzen von z.B. +/- 30mm. Bei den Mitarbeitern der beauftragten Firmen und deren Subunternehmern besteht jedoch eine langjährige Tradition, Leitungen nach dem Kriterium der Arbeitseffizienz zu verlegen. Dabei sind Abweichungen von +/- 500 mm keine Seltenheit. Der Sinn einer exakten Einhaltung der Trassenlage und der Toleranzen ist in der vielfach gestaffelten Kette von beteiligten Unternehmen und Subunternehmen auch mit großem Aufwand nur schwer und teilweise auch gar nicht vermittelbar. Aus der Perspektive der Systemtheorie kann dies damit erklärt werden, dass hier

viele nur sehr lose gekoppelte Einzelsysteme mit jeweils eigener Identität und Sinnstruktur agieren. Baut nun die weitere Planung auf der digitalen Repräsentation von Planungsdaten auf, wird es unweigerlich zu Kollisionen kommen. In der Aufwandsabschätzung empfiehlt es sich hier, weder die Planungsdaten einfach weiterzuverwenden, noch eine gemeinsame Sinnstruktur für alle Beteiligten Subsysteme entwickeln zu wollen, sondern einfach mit der Variante der Datenrückführung durch Bestandsaufnahme zu arbeiten. Bei einem Projekt von der Größe des Werksaufbaus in Leipzig waren dafür ungefähr 1,5% der Investitionssumme aufzuwenden. Im Ergebnis konnten damit Behinderungen und Terminüberschreitungen im Bauablauf minimiert und eine korrekte Datenbasis für alle zukünftigen Planungsüberlegungen geschaffen werden.

8. Perspektiven der Entwicklung aus Anwendersicht

Ohne Zweifel werden die Methoden und Technologien der ‚digitalen Fabrik' sich rapide weiterentwickeln. Aus Sicht der Anwender sind die Aspekte von Partizipations- bzw. Aneignungsmöglichkeiten entscheidend für den sozialen und damit auch technisch-betriebswirtschaftlichen Erfolg. Die ganzheitliche, systemische Perspektive, bei der insbesondere die Logik sozialer Prozesse intensive Beachtung findet sowie verstärkte Immersion und verbesserte Ergonomie sind aus Anwendersicht sicher wesentliche Grundlagen für eine erfolgreiche Integration von ‚virtueller' und ‚realer' Fabrik.

9. Literatur

Ashby, W. Ross, 1957, An Introduction to Cybernetics, 1. Aufl. London.
Bateson, Gregory, 2000, Steps to an ecology of mind, Chicago.
Foerster, Heinz von 7. Aufl., 2006, Wahrheit ist die Erfindung eines Lügners, Heidelberg.

Foerster, Heinz von; Bröcker, Monika 2007, Teil der Welt. Fraktale einer Ethik - oder Heinz von Foersters Tanz mit der Welt, Zweite, korrigierte Auflage, Unter Mitarbeit von Georg Ivanovas, Heidelberg.

Luhmann, Niklas 2006a, Organisation und Entscheidung, 2. Aufl. Wiesbaden.
Luhmann, Niklas 2006b, Soziale Systeme. Grundriss einer allgemeinen Theorie, 16. Aufl., Frankfurt a. M.

Simon, Fritz B., 2007, Einführung in die systemische Organisationstheorie, 1. Auflage, Heidelberg.

Wimmer, Rudolf 1999, Wider den Veränderungsoptimismus, Zu den Möglichkeiten und Grenzen einer radikalen Transformation von Organisationen, In: Soziale Systeme, Jg. 1, S. 159–180, Online verfügbar unter www.soziale-systeme.ch.

10. Autor

Dipl.-Ing. Peter Claussen
Beratung für Systemische Prozess- und Organisationsgestaltung,
Lehrbeauftragter für Systemische Fabrikplanung und Fabrikbetrieb TU Dresden

Neuhäusl 1
93155 Hemau

Telefon: 09498 906 214
Telefax: 09498 906 213
E-Mail: biz@claussenweb.de



12. IFF-Wissenschaftstage

16.-18. Juni 2009

Impulsvortrag

Integrierte Virtuelle Entwicklung wird global – Chancen und Grenzen

Dr.-Ing. Christoph Göttlicher

Lebenslauf



Dr. Christoph Göttlicher

Leiter Global CAx Execution

Adam Opel GmbH
65423 Rüsselsheim

Telefon: 06142 775 717
E-Mail: christoph.goettlicher@de.opel.com

23.06.1964	Geboren in Darmstadt, zwei Geschwister
31.05.1983	Abitur an Lichtenbergschule, Darmstadt
31.12.1994	Verheiratet, drei Kinder
31.03.1989	Diplom im Allgemeinen Maschinenbau an der Technischen Universität, Darmstadt
30.06.1994	Abschluss der Promotion an der Technischen Universität Darmstadt mit dem Thema: Festigkeitsberechnung von Polygon Welle-Nabe-Verbindungen
01.10.1994	Einstieg bei der Adam Opel AG als Projektingenieur Karosserieentwicklung/Simulation
01.12.1996	Projektleiter IT zur Einführung von: - Digital Mock-Up - Rapid Prototyping - Virtual Reality
01.12.1997	Projektleiter Fahrzeug Simulation für den Opel Vectra
01.04.1999	Manager "Vehicle Simulation Process" für General Motors und Manager "Methodenentwicklung" für Opel
01.06.2001	Einführung "Virtual Engineering" in der Opel Entwicklung (Schlüssel Initiative im Opel Turnaround Programm Olympia)
01.06.2004	Manager Virtual Engineering GM Global Midsize: - weltweite Verantwortung zur Umsetzung von Virtual Engineering Fahrzeug Architektur weit

	- Planung Architektur weiter, effizienter Prototyp-Pläne durch umfangreichen Einsatz virtueller Methodik
01.10.2005	Leitung Virtual Engineering für General Motors Europa - Strategie und Implementierung - Umsetzung in allen Fahrzeugprogrammen
01.01.2007	Zusätzliche Verantwortlichkeit: Leiter Global CAx Execution für gesamt General Motors weltweit

Integrierte Virtuelle Entwicklung wird global - Chancen und Grenzen

Dr.-Ing. Christoph Göttlicher

1. Kurzfassung

Stetig wachsende Kundenanforderungen wie weltweit steigende, gesetzliche Anforderungen an neue Fahrzeuge lassen die Komplexität und Teile-/System-vielfältigkeit ebenso ansteigen. Hoher Qualitätsstandard und hohe Kunden-zufriedenheit müssen gegeben sein. Gleichzeitig soll dem Kunden aber auch ein kostengünstiges Fahrzeug angeboten werden erst recht in wirtschaftlich schweren Zeiten. Hierzu gilt es an zwei Kostenschrauben zu drehen: Die Effizienz der Entwicklung und die Produktkosten. Das Nutzen von weltweiten Entwicklungs-ressourcen wie auch weltweiten Absatzmärkten hilft, beide Kostenaspekte zu optimieren. Wesentlich hierbei ist die weltweite Verwendung von Gleichent-wicklungen und Gleichteilen/ -systemen. Schlüssel zur Realisierung dieser Ziele ist die, globale, virtuelle Entwicklung'. Sie wurde erstmalig mit dem neuen Mittelklassefahrzeug Insignia angewendet, das seit dem Herbst 2009 auf dem Europäischen Markt eingeführt wird und in der Folge weltweit unter verschiedenen Brands gelauncht wird.

2. Einleitung

„Mit seinem wegweisenden Design, den innovativen Technologien für maximale Sicherheit und höchste Dynamik und mit der perfekten Ergonomie bringt der neue Opel Insignia die besten Voraussetzungen mit, neue Maßstäbe in der Mittelklasse zu setzen. Der Insignia wird geprägt von einer fließenden, kraftvollen Silhouette mit coupéartig geschwungenem Dach und ... ", so wird der Opel Insignia in der Presse [Bild 1] [1] beschrieben. Dank der guten aerodynamischen (cw = 0,27 bzw. 0,26 für



Bild 1: Opel Insignia - Styling mit Coupé-Charakter

die Version ecoFLEX) Eigenschaften zählt er zu den Besten in seiner Klasse. Diese Charakteristik wird durch die vorliegenden Proportionen und Dimensionen [Bild 1 + 2] ermöglicht.

Für Fahrwerk und Sicherheitskonzept findet sich in der Produktwerbung folgende Beschreibung: „ ... Bereits das Serienfahrwerk bietet höchste Fahrdynamik mit außergewöhnlichen Sicherheitsreserven. Mit dem FlexRide Premium-Fahrwerk und dem adaptiven 4x4 Allradantrieb lassen Handling und Fahrspaß auch für sportlich ambitionierte Fahrer keine Wünsche mehr offen. Das besondere am 4x4 Allradantrieb besteht in der separaten Drehmomentverteilung auf die Hinterräder, das so genannte „Torque Vectoring“. Der Opel Insignia bietet weiterhin ein umfassendes Sicherheitskonzept (fünf Sterne für Insassenschutz bei 35 von 37 möglichen Punkten im Euro NCAP) mit vielen innovativen Technologien – z.B. die fortschrittliche Lichttechnologie Adaptives Fahrlicht (AFL+), das mit neun verschiedenen Lichtfunktionen jederzeit für eine optimale Ausleuchtung der jeweiligen Situation sorgt.“ [1,3]
Um die Komfort- und Ergonomieeigenschaften verbessern zu können, ist die Fahrgastzelle um +58 mm verbreitert worden und in der Limousine steht ein Kofferraumvolumen von 500 Litern und in der Fließheckvariante ein Volumen von 520 Litern zur Verfügung.
Der Opel Insignia ist gegenüber dem Vorgängermodell deutlich größer geworden [Bild 2]. Die Gesamtfahrzeuglänge ist um +219 mm vergrößert worden, wobei die Radstandvergrößerung +37 mm beiträgt. Die vordere Fahrzeugspur ist um +49 mm und die Fahrzeugspur hinten um +62 mm breiter, wodurch auch die Fahreigenschaften positiv beeinflusst werden.

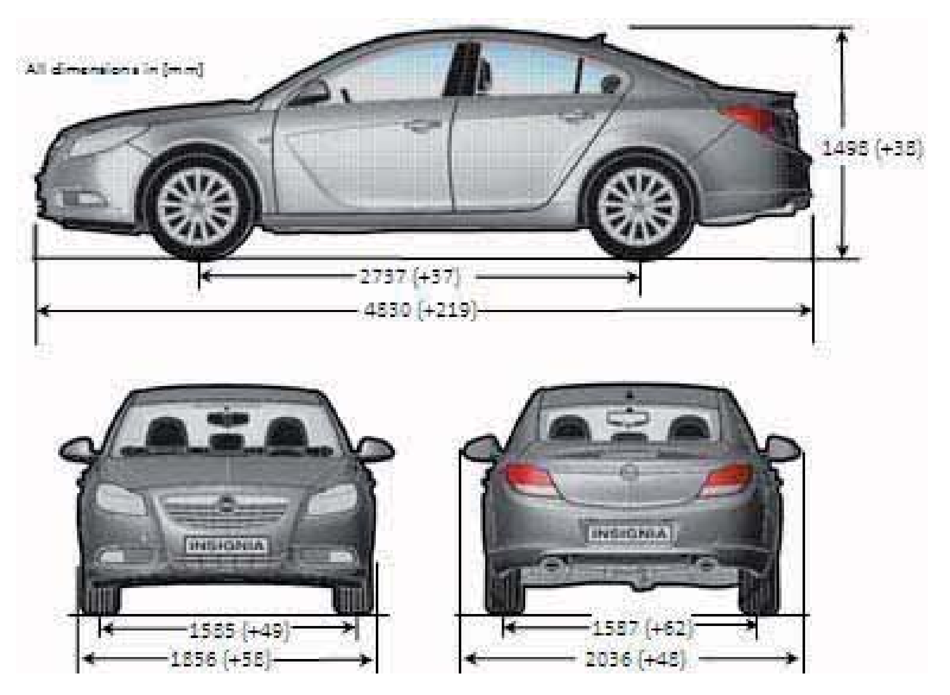


Bild 2: Opel Insignia Fahrzeugdimensionen vs. Opel Vectra C

3. Der Fahrzeugentwicklungsprozess und die Produktqualität

Allgemein betrachtet sind im traditionellen Entwicklungsprozess alle erforderlichen Meilensteine von der Konzeptphase über die einzelnen Entwicklungsphasen und Validierungsphasen bis hin zum eigentlichen Produktionsstart enthalten. Die Verkürzung der Entwicklungszeiten erfordert konsequente Parallelisierung der Entwicklungsaufgaben und den kontinuierlichen Einsatz der CAx-Werkzeuge. Ein weiterer Schritt ist der gezielte Einsatz einer reduzierten Anzahl von Prototypen. Diese Vorgehensweise erfordert zusätzliche Maßnahmen. Die Schlüsselstrategie zum Integrieren und Parallelisieren der einzelnen Entwicklungsaufgaben ist „Virtual Engineering" mit den drei Hauptsäulen:

- Technologie (integrative IT Infrastruktur)
- Prozess (Datensynchronisation und „Virtual Vehicle Assessment")
- Mitarbeiter (alle Organisationsebenen hinsichtlich ihrer Aufgaben)

Durch die schrittweise Integration der „Virtual Engineering" -Bausteine in den Gesamtfahrzeugprozess konnte der eingeschlagene Weg, auf physikalische Prototypen für Derivate zu verzichten, bereits seit dem Opel Corsa 5-Türer stetig verfeinert werden. In diesem Zeitraum konnte auch die Opel Produktqualität drastisch verbessert werden. Im TÜV-Report 2007 [Bild 3] [5] wurde der Opel Meriva als Nummer Eins, aufgrund seiner geringen Mängelquote (1,8%), genannt. Dieser Erfolg basiert auch auf der konsequenten Anwendung der „Virtual Engineering" -Bausteine.





Bild 3: TÜV-Report 2007

Der Qualitätsbericht 2008 [2] attestiert: Opel ist bester europäischer Großserienhersteller. Die hohe Produktqualität war und ist das oberste Ziel, auch für den Opel Insignia. Diese Zielvorgabe erfordert stets die konsequente Mitarbeit aller Mitarbeiter der verschiedenen Unternehmensbereiche.

4. Fahrzeug – Definitionen

Die unterschiedlichen Anforderungen aus den verschiedenen internationalen Märkten und die daraus resultierenden Produkteigenschaften werden zu Beginn des Fahrzeugentwicklungsprozesses definiert und in technische Kenngrößen transformiert. Darin werden alle Systeme berücksichtigt, die innerhalb der Insignia Familie die Produktbandbreite darstellen:

- Karosserievarianten
- Motor- und Getriebefamilien
- Reifenprogramm
- Unterschiedliche Fahrwerksabstimmungen
- Verschiedene Achsen (inkl. adaptivem 4x4 Allradantrieb) [Bild 4]

Diese Kenngrößen werden in der „Technischen Fahrzeug-Spezifikation“ als Ziele verankert und halten auf dem weiteren Entwicklungsweg Einzug in das Produkt. Des Weiteren enthält die „Technischen Fahrzeug-Spezifikation“ auch die Produktqualitätsziele, die Performanceziele sowie die Zielgrößen für die abschließende Fahrzeugvalidierung.

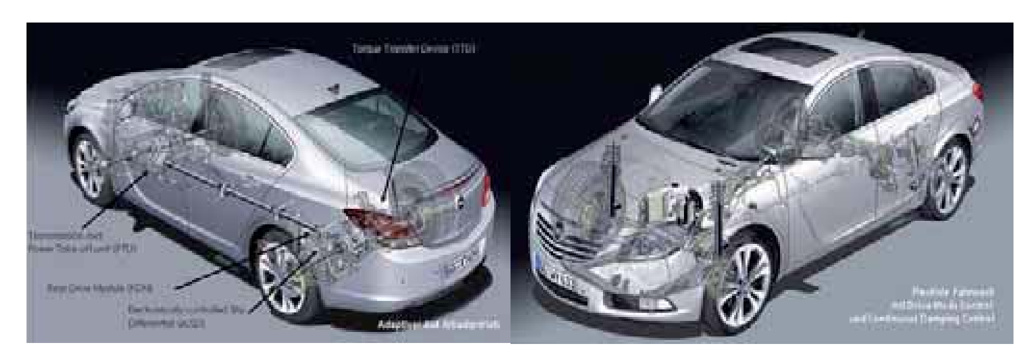


Bild 4: FlexRide Fahrwerk / FlexRide Fahrwerk mit adaptivem 4x4 Allradantrieb

Aus den Zielen für das Gesamtfahrzeug leiten sich die erforderlichen Kenngrößen der jeweiligen Subsysteme ab, die als Fundament zum Erreichen der gewünschten Gesamtfahrzeugeigenschaften erforderlich sind.

5. Gesamtheitlicher Ansatz für Parallelisierung der Entwicklung

Der Effizienzerfolg ist maßgebend dadurch bestimmt, wie parallelisiert und integriert alle an der Fahrzeugentstehung beteiligten Partner arbeiten. Gefordert sind hier alle Bereiche von Package über Fahrzeugperformance, aber auch Fertigung oder Service. [Bild 5] Wichtig ist in der virtuellen Entwicklung, dass jeder auf die gleichen Teiledaten zugreifen kann, unabhängig von der Region und der Funktion, zu der er gehört. Die Verwendung der Daten ist über den Entwicklungsprozess hin standardisiert, so dass jeder Beteiligte in abgestimmter Weise weiß, wann er was zu liefern hat, aber auch wann er welche Daten zu benutzen hat. ‚Standard Work‘ ist im globalen Umfeld die Basis für die konstruktive Zusammenarbeit.

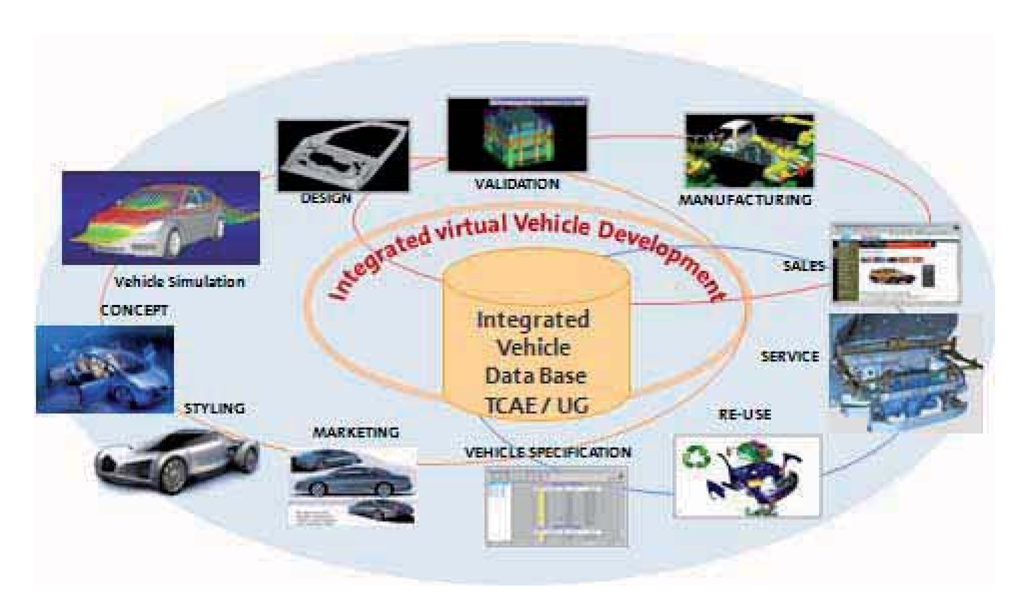


Bild 5: Virtuelle Entwicklung bindet alle an der Produktentstehung beteiligten Partner zusammen

6. Kernelemente der virtuellen Entwicklung

Neben der Standard Work sind Virtuelle Meilensteine (Virtual Vehicle Assessments, VVA) und eine regelmäßige Datensynchronisation die Fundamente der virtuellen Entwicklung [Bild 6]. VVAs dienen der Vorbereitung der wesentlichen Entscheidungspunkte in der Entwicklung. Diese sind entweder Top-Management Besprechungen, Freigabepunkte oder Entscheidungspunkte zum Bau von Prototypen.

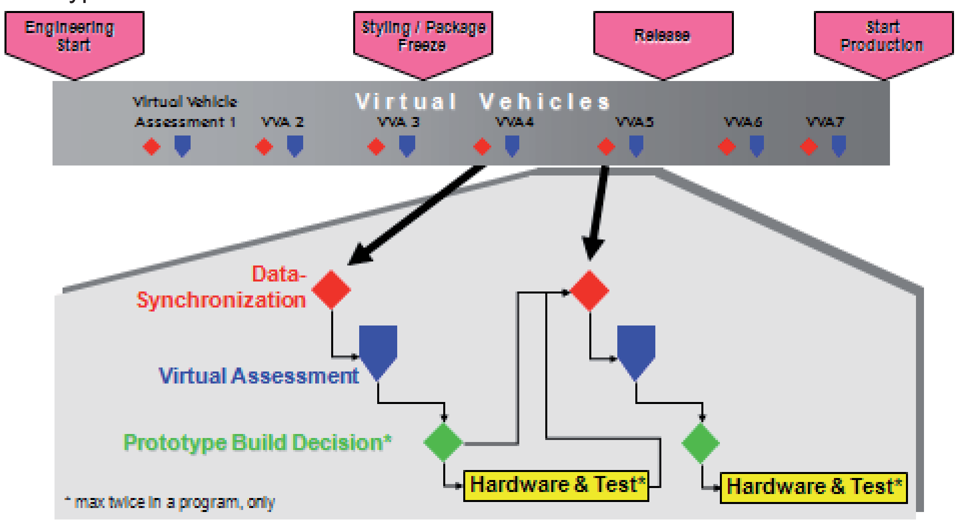


Bild 6: Virtuelle Meilensteine und Daten Synchronisation

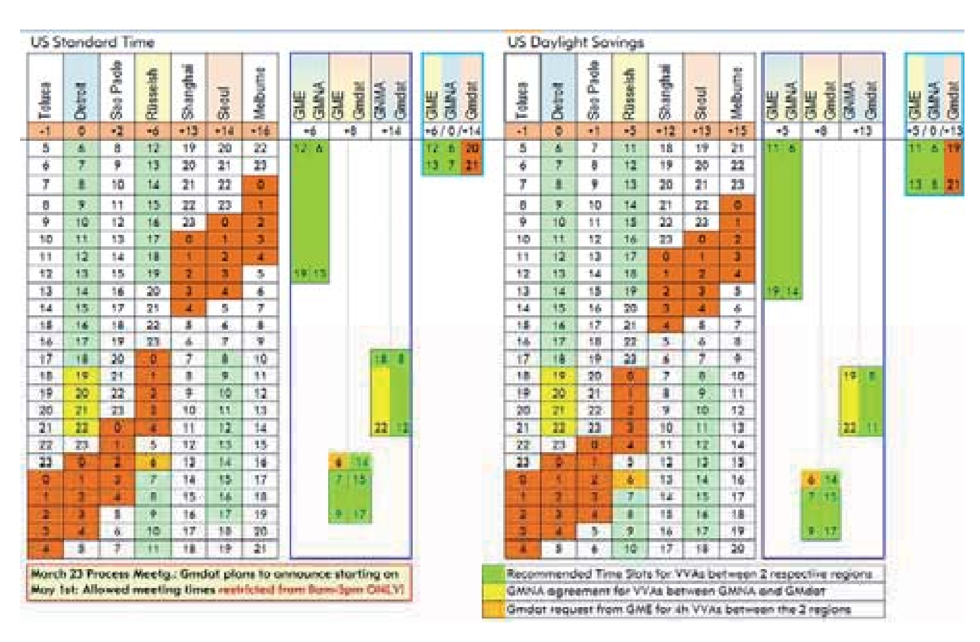
Vor jedem VVA werden die Daten weltweit synchronisiert. Hierzu werden vorspezifizierte virtuelle Prototypen verwendet, die von der Konstruktion gefüllt werden und von den Datenkunden als Datenquelle verwendet werden [Bild 7].

22.04.2008		CLICK ON THE PLUS "+" ABOVE TO EXPAND				
		OPEL	SATURN	DAEWOO	CHEVROLET	HOLDEN
		ACTIVE	WILL BE DELETED ON 04.06.2008	ACTIVE	ACTIVE	ACTIVE
	SVR Name:	TKVBP1001	TKVBP1004	TKVBP0901	TKVBP0902	TKVBP0903
	Click on your location to open in TCVis -->	ITDC	ITDC	ITDC	ITDC	ITDC
● = Planned Option ○ = Deleted Option	Model Year: Model Designator:					
	Engine:					
	Transmission:					
	Vehicle Drive:					
	Wheelbase, Driveline					
	Program Number:					
	SVR-Owner NOTE: The owner is responsible for the content and update of the TKV					
RPOCODE	Option Name/Last modified	17.04.2008	15.04.2008	14.04.2008	14.04.2008	14.04.2008
0.	Vehicle					
LHD	VEHICLE DRIVE LEFTHAND DRIVE	●	●	●	●	
RHD	VEHICLE DRIVE RIGHTHAND DRIVE					●
Z49	EXPORT CANADIAN MODIF MANDATORY BASE EQUIP					
V83	VEHICLE STATEMENT ECE ORGANIZATION	●				
V86	VEHICLE STATEMENT CHINA					
V87	VEHICLE STATEMENT GULF STATES ORGANIZATION					
V...	VEHICLE STATEMENT AUSTRALIA					

racking Vehicles GCC / Modules + INT Car Links / Overview Modeldesignator / INT CAR 3400 / INT Car 03400 / INT Car

Bild 7: Festlegung von virtuellen Prototypen

Zu den im übergeordneten Zeitplan festgelegten Synchronisationspunkten treffen sich die Konstrukteure und Datenkunden, um die virtuellen Prototypen durchzusprechen, fehlende Informationen zu ermitteln und um einen Konsens über die Verwendbarkeit der virtuellen Prototypen herzustellen. Solche Besprechungen finden unter Beteiligung aller geforderten Regionen statt. Alle Konstrukteure können weltweit gleichzeitig auf die gleichen Daten der virtuellen Fahrzeuge schauen. Die globale Zusammenarbeit zu in den Regionen verträglichen Arbeitszeiten ist zeitlich begrenzt [Bild 8], von daher müssen die virtuellen Fahrzeuge zuvor bereits durchgesehen sein und in der Besprechung wird sich auf die offenen Fragen konzentriert.



US Standard Time

Toluca	Detroit	Sao Paolo	Rüsselsh	Shanghai	Seoul	Melbourne
-1	0	+2	+6	+13	+14	+16
5	6	8	12	19	20	22
6	7	9	13	20	21	23
7	8	10	14	21	22	0
8	9	11	15	22	23	1
9	10	12	16	23	0	2
10	11	13	17	0	1	3
11	12	14	18	1	2	4
12	13	15	19	2	3	5
13	14	16	20	3	4	6
14	15	17	21	4	5	7
15	16	18	22	5	6	8
16	17	19	23	6	7	9
17	18	20	0	7	8	10
18	19	21	1	8	9	11
19	20	22	2	9	10	12
20	21	23	3	10	11	13
21	22	0	4	11	12	14
22	23	1	5	12	13	15
23	0	2	6	13	14	16
0	1	3	7	14	15	17
1	2	4	8	15	16	18
2	3	5	9	16	17	19
3	4	6	10	17	18	20
4	5	7	11	18	19	21

March 23 Process Meetg.: Gmdat plans to announce starting on May 1st: Allowed meeting times restricted from 8am-5pm ONLY!

US Daylight Savings

Toluca	Detroit	Sao Paolo	Rüsselsh	Shanghai	Seoul	Melbourne
-1	0	+1	+5	+12	+13	+15
5	6	7	11	18	19	21
6	7	8	12	19	20	22
7	8	9	13	20	21	23
8	9	10	14	21	22	0
9	10	11	15	22	23	1
10	11	12	16	23	0	2
11	12	13	17	0	1	3
12	13	14	18	1	2	4
13	14	15	19	2	3	5
14	15	16	20	3	4	6
15	16	17	21	4	5	7
16	17	18	22	5	6	8
17	18	19	23	6	7	9
18	19	20	0	7	8	10
19	20	21	1	8	9	11
20	21	22	2	9	10	12
21	22	23	3	10	11	13
22	23	0	4	11	12	14
23	0	1	5	12	13	15
0	1	2	6	13	14	16
1	2	3	7	14	15	17
2	3	4	8	15	16	18
3	4	5	9	16	17	19
4	5	6	10	17	18	20

Recommended Time Slots for VVAs between 2 respective regions
GMNA agreement for VVAs between GMNA and GMdat
Gmdat request from GME for 4h VVAs between the 2 regions

Bild 8: Zeitfenster für globale Zusammenarbeit

7. Zusammenfassung

Die virtuelle Entwicklung ist der Schlüssel zur weltweiten, effizienten Fahrzeugentwicklung. Die wesentlichen Elemente sind abgestimmte Standard Work, Festlegung von virtuellen Prototypen und Virtuelle Meilensteine. Im Mittelklasseprojekt Insignia wurden diese erstmalig in einem weltweit kooperativen Umfeld erfolgreich eingesetzt.

8. Literaturhinweise

[1] Presseportal: http://www.presseportal.de, Aug. 2008
http://www.opel-osv.de, Apr. 2008

[2] Qualitätsreport 2008: „Opel in der Spitzengruppe - Im aktuellen AUTO BILD Qualitätsreport schaffte es Opel als bester deutscher Hersteller auf den vierten Platz. . . .) — AUTO BILD 42/2008

[3] EURO NCAP: http://www.euroncap.com/tests/opel_insignia_2008/335.aspx; „Opel Insignia rated Five Stars in Euro NCAP safety Test"(35 out of 37 points), Nov. 2008

[4] Lepper Karl-Heinz; Göttlicher Christoph: "Integrated and Global Virtual Vehicle Development". VDI-Bericht 2031, Düsseldorf: VDI-Verlag 2008, S.507-519

[5] Vd-TÜV Portal: TÜV-REPORT 2007 „Gold geht nach Deutschland - Mängelquote leicht gesunken, aber auf hohem Niveau" (30.01.2007)

9. Autor

Dr.-Ing. Christoph Göttlicher
Acting Director GM Global CAx Execution/Manager Virtual Engineering

Adam Opel GmbH
GME Integr. Safety, Reg. VCE & Perf. IPC R3-04
65423 Rüsselsheim

Telefon: 06142 775 717
Telefax: 06142 764 719
E-Mail: christoph.goettlicher@de.opel.com

12. IFF-Wissenschaftstage

16.-18. Juni 2009



Digitale Produktentwicklung

Effizient Automatisieren mit virtuellen Maschinen

Dr.-Ing. Dieter Michael Scheifele
Dipl.-Ing. Ulrich Eger
Prof. (jun.) Dr.-Ing. Sascha Röck
Dipl.-Ing. Peter Sekler

Lebenslauf



Dr.-Ing. Dieter Michael Scheifele

Geschäftsführender Gesellschafter

ISG-Industrielle Steuerungstechnik GmbH
Rosenbergstr. 28
70174 Stuttgart

Telefon: 0711 229 92 30
E-Mail: dieter.scheifele@isg-stuttgart.de

1.7.1953	Geboren in Besigheim am Neckar
1960-1973	Grundschule/Gymnasium Besigheim
1973-1974	Wehrdienst
1974-1980	Universität Stuttgart, Fakultät Elektrotechnik Studiengang: Theoretische Elektrotechnik, Nachrichtentechnik; Abschluss: Dipl.-Ing.
1981-1988	wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) an der Universität Stuttgart
Seit 1987	Geschäftsführender Gesellschafter der ISG-Industrielle Steuerungstechnik GmbH, Stuttgart Geschäftsfeld "ISG-kernel", Forschung und Entwicklung eines technologieübergreifenden Softwaresystems zur Bewegungssteuerung von Robotern (RC), von Werkzeug-, Holzbearbeitungs- und Strahlschneidemaschinen (NC) sowie von Verpackungs- und Textilmaschinensteuerung (MC)
25.5.1988	Verleihung des Dr.-Ing. durch die Universität Stuttgart

Lebenslauf



Dipl.-Ing. Ulrich Eger

Bereichsleiter Simulationstechnik

ISG-Industrielle Steuerungstechnik GmbH
Rosenbergstr. 28
70174 Stuttgart

Telefon: 0711 229 9231
E-Mail: ulrich.eger@isg-stuttgart.de

11.10.1956	Geboren in Stuttgart
1963-1976	Schulausbildung mit Abitur
1976-1978	Wehrdienst
1978-1987	Studium an der Universität Stuttgart, Studiengang Elektrotechnik mit Schwerpunkt Regelungstechnik und Prozessautomatisierung
1988-2003	Verantwortlich für den Bereich bewegungserzeugende Funktionen in einer Steuerung für das Produkt ISG-kernel bei der Industriellen Steuerungstechnik GmbH (ISG)
Seit 2003	Verantwortlich für den Bereich Simulationstechnik für das Produkt ISG-virtuos bei der Industriellen Steuerungstechnik GmbH (ISG)

Lebenslauf



Prof.(jun.) Dr.-Ing. Sascha Röck

Juniorprofessor für Angewandte Simulation in der Produktionstechnik

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungs-einrichtungen (ISW)
Universität Stuttgart
Seidenstr. 36
70174 Stuttgart

Telefon: 0711 685 84523
E-Mail: sascha.roeck@isw.uni-stuttgart.de

19.06.1970	Geboren in Stuttgart
1977-1990	Schul- und Berufsausbildung (Kraftfahrzeugmechaniker)
1990-1995	Berufstätigkeit und Fortbildung zum Maschinentechniker
1995-2000	Studium an der Hochschule für Technik in Esslingen, Studiengang Maschinenbau / Fahrzeugtechnik
2000-2001	Berechnungsingenieur bei der COSIN-Software GmbH
2001-2003	Eignungsfeststellung für die Promotion, Universität Stuttgart
2003-2007	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
18.06.2007	Promotion an der Universität Stuttgart zum Thema Echtzeitsimulation von Produktions-anlagen mit realen Steuerungssystemen
2007-2008	Entwicklungsleiter Simulationstechnik bei der Industriellen Steuerungstechnik GmbH (ISG)
Seit 10.2008	Juniorprofessor im Rahmen des Exzellenzclusters Simulation Technology an der Universität Stuttgart

Lebenslauf



Dipl.-Ing. Peter Sekler

Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Steuerungstechnik

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungs-einrichtungen (ISW)
Universität Stuttgart
Seidenstr. 36
70174 Stuttgart

Telefon: 0711 685 82769
E-Mail: peter.sekler@isw.uni-stuttgart.de

07.04.1980	Geboren in Ellwangen an der Jagst
1986-1999	Schulausbildung mit Abitur
1999-2000	Wehrdienst
2000-2006	Studium an der Universität Stuttgart im Studiengang Maschinenwesen
2003-2004	Studium an der University of Utah
seit Mai 2006	wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)

Effizient Automatisieren mit virtuellen Maschinen

Dr.-Ing. Dieter Michael Scheifele, Dipl.-Ing. Ulrich Eger, Prof.(jun.) Dr.-Ing. Sascha Röck, Dipl.-Ing. Peter Sekler

1. Einleitung

Der kontinuierlich zunehmende Wettbewerbsdruck zwingt Maschinen- und Anlagenbauer dazu, neue innovative Wege zu finden, um sowohl die Entwicklungskosten und –dauer neuer Produkte zu reduzieren als auch deren Qualität und Leistungsvermögen zu erhöhen. Um diese Ziele zu erreichen, bietet sich der Einsatz von Simulationswerkzeugen in möglichst vielen Phasen des Entwicklungszykluses an.

Grundvoraussetzung für eine durchgängige Simulation ist die ganzheitliche Betrachtung des Systems „Produktionsanlage“. Dies beinhaltet nicht nur das komplette Maschinen- und Anlagenverhalten sondern auch die Berücksichtigung der Steuerungstechnik. Hierzu hat sich in den letzten Jahren insbesondere die gekoppelte Simulation zwischen realer Steuerungstechnik und virtueller Maschine durchgesetzt.

Dieser Beitrag der *Industriellen Steuerungstechnik GmbH (ISG)* und des *Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart (ISW)* soll einen Überblick des derzeitig Möglichen anhand von erfolgreichen Umsetzungen mit dem Simulationswerkzeug ISG-virtuos in der Industrie geben und zukünftige Potentiale dieser Technologie aufzeigen. ISG-virtuos ist ein Echtzeit-Simulationswerkzeug zur Realisierung virtueller Maschinen und Anlagen für die Hardware-in-the-Loop Simulation (HiLS).

2. Virtuelle Inbetriebnahme mit Hilfe der Hardware-in-the-Loop Simulation

Einer der ersten Anwendungen in dieser Technologie ist die virtuelle Inbetriebnahme von Steuerungssystemen. Dabei wird das reale Steuerungssystem über den realen Feld- bzw. Antriebsbus (Hardware) an eine virtuelle Maschine oder Anlage (Simulation) angebunden. Diese berechnet das Maschinenverhalten und liefert die für die Steuerung relevanten Maschineninformationen (Istwerte) an die Steuerung zurück, wobei zudem innere Zustandsgrößen zur Diagnose protokolliert und dem Inbetriebnehmer angezeigt werden können. Dies ermöglicht einen sehr realistischen Test der Steuerungsprogramme auf der realen Hardware mit allen Laufzeiteffekten ohne die reale Maschine oder Anlage bereitstellen zu müssen. Der Mehrwert liegt hier in der Möglichkeit frühzeitig die Steuerungsprogramme erstellen und gleichzeitig sehr realitätsnah testen zu können [Sle2007].
Die an die jeweiligen Anforderungen angepassten Maschinenmodelle bieten eine Grundlage zur Gewinnung hochwertiger und aussagekräftiger Informationen. Die Maschinensimulation fördert das Systemverständnis und vereinfacht die Kommunikation und die Entscheidungsfindung zwischen den an der Entwicklung beteiligter Parteien.

Die Nutzungsmöglichkeit der Hardware-in-the-Loop Simulation ist darüber hinaus sehr vielfältig:

- Virtuelle Inbetriebnahme von Steuerungssoftware und -hardware,

- Test von Steuerfunktionen und der Bedieneinheit,
- Training des Maschinen-Bedienpersonals zur effizienten Behebung von irregulären Zuständen,
- Automatisierter Test der Steuerung mit deterministischer Erzeugung von Störsituationen,
- Einfahren von Maschinenprogrammen in der Arbeitsvorbereitung,
- Optimierung von Maschinentaktzeiten.

3. Modellierung der Maschinenfunktionen

Vor dem Beginn der Modellierung einer virtuellen Maschine oder Anlage muss geklärt sein, für welches Einsatzspektrum diese gedacht ist. Während für den Test und die Optimierung einer Steuerung häufig die Modellierung idealisierter Maschinenfunktionen zur Abbildung logischer Zusammenhänge ausreichend ist, wird für die Parametrierung und Auswahl geeigneter Steuerungs- und Regelungsalgorithmen z.B. zur HSC-Bearbeitung oder Prozessregelung ein wesentlich anspruchsvolleres Modell mit entsprechenden Funktionen zur Beschreibung physikalisch komplexer Phänomene benötigt. Das folgende Kapitel soll den Nutzen und die Möglichkeiten von detaillierten Abbildungen von Maschinenfunktionen in der Hardware-in-the-Loop Simulation aufzeigen.

3.1. Modellierung idealisierter Maschinenfunktionen

Für die Modellierung idealisierter Maschinenfunktionen sind Teilmodelle zur Abbildung des logischen, kinematischen und dynamischen Verhaltens erforderlich. Die logischen Teilmodelle dienen zur Abbildung von Schaltfunktionen oder von intelligenten Maschinenkomponenten (intelligente Antriebe, Sensoren, etc.). Die kinematischen Teilmodelle ermöglichen das Abbilden räumlicher Bewegungen. Dabei können die Bewegung beliebig gekoppelt sein; Sei es eine offene kinematische Kette wie bei einem Knickarmroboter oder eine geschlossene kinematische Kette wie bei einer Parallelkinematikmaschine. Für beispielsweise verkettete Maschinen sind darüber hinaus Teilmodelle zur Beschreibung des Materialflusses erforderlich. Hierzu gehört der Teiletransport auf Fördereinrichtungen unter Berücksichtigung des Aufstauverhaltens. Zu den idealisierten Maschinenfunktionen gehören auch einfache Dynamikmodelle, wie z.B. Reglerstrukturen (lineare Reglerkaskade) für einfache Regelstrecken (Übertragungsglied 2. Ordnung). ISG-virtuos bietet für alle genannten Maschinenfunktionen eine umfangreiche Modell-Bibliothek zur Erstellung von Systemmodellen an.

Oft werden bei der virtuellen Inbetriebnahme nur reguläre Betriebszustände betrachtet, die so genannten „Gutfälle“. Somit kann der Steuerungstest auch nur für diese Gutfälle erfolgen, die aus der Erfahrung ca. nur ein Drittel aller möglichen Testfälle abdecken. Applikationen mit ISG-virtuos zeichnen sich dadurch aus, dass auch irreguläre Betriebszustände betrachtet werden. Hierzu gehören beispielsweise Störungen in Sensoren und Aktoren. ISG-virtuos erlaubt insbesondere das Modellieren und das Auslösen solcher Störfälle. Damit kann die SPS-Software auf mögliche Störfälle, deren Behandlung i.a. weitaus mehr SPS-Code einnimmt wie die Behandlung der regulären Betriebszustände, getestet werden. Auch Störfälle, die ein Sicherheitsrisiko für Mensch und Maschine darstellen können damit simuliert werden.

3.2. Erweiterung der Modellierung um physikalisch komplexe Phänomene

Das Anlagenverhalten ist nicht immer idealisiert darstellbar. Häufig treten Phänomene auf, die nicht vorhersehbar sind. Insbesondere in der Handhabungstechnik treten Kontaktprobleme auf, deren Ursachen und Wirkungen nicht idealisiert abgebildet werden können. Ein weiteres Beispiel sind Schwingungsphänomene bei Prozessen mit hoher Dynamik und hohen Genauigkeitsanforderungen.

3.2.1 Kontaktphänomene

Ein wesentlicher Teil der Steuerungssoftware von Handhabungssystemen wird heutzutage an der realen Maschine während der Inbetriebnahme entwickelt und getestet. Der Grund dafür ist, dass die genauen Prozessabläufe und insbesondere deren Rückwirkung auf die Steuerungstechnik vor dem Aufbau der Anlage nur unzureichend bekannt sind. Gerade bei großen Anlagen mit vielen verketteten Bearbeitungsstationen und umfangreicher Fördertechnik, wie beispielsweise Flaschenabfüllanlagen, Tablettenverpackungsanlagen oder Anlagen zur Bestückung von Halbleiterplatinen, ist die Inbetriebnahme der dezentralen und meist sehr heterogenen Steuerungstechnik sehr zeit- und kostenaufwendig und deren Überwachung im Betrieb sehr schwierig. Treten Fehler auf, führt dies unmittelbar zum Produktionsausfall und damit zu weiteren Kosten.
Dieses Problem konnte bislang für die virtuelle Inbetriebnahme von Handhabungssystemen mit Hilfe einer Hardware-in-the-Loop Simulation nicht gelöst werden. Der Grund ist, dass die dafür erforderliche echtzeitfähige Kollisions- und Kontaktberechnung bislang nicht zur Verfügung stand.
In Zusammenarbeit mit dem ISW wurde eine echtzeitfähige Kollisionsbibliothek entworfen und in die Echtzeitsimulationsplattform ISG-virtuos integriert. Die damit möglichen Simulationsszenarien sind in Abbildung 1 dargestellt.

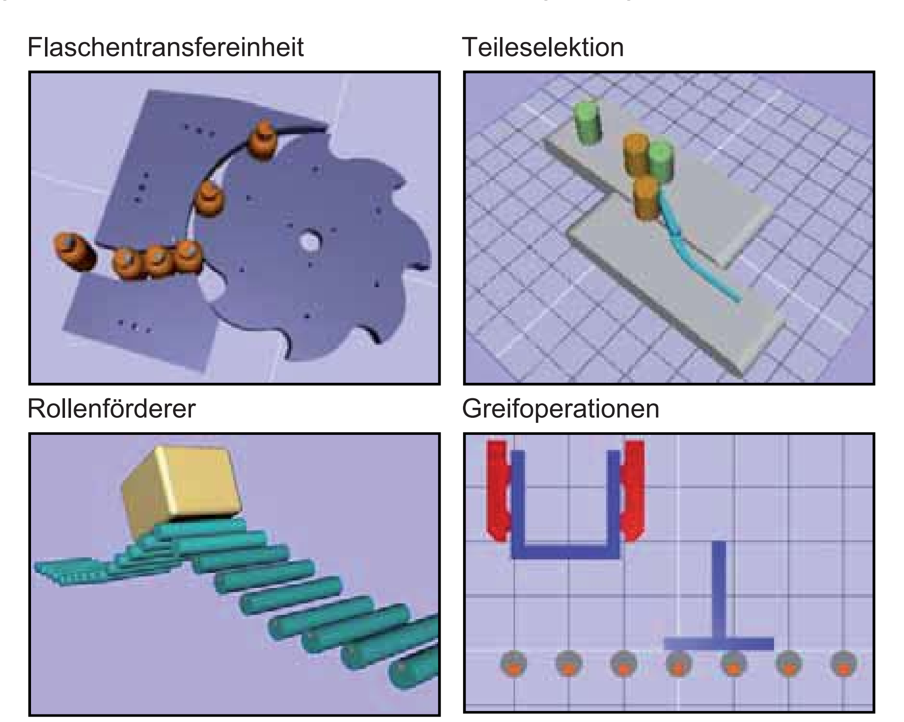


Abbildung 1: Echtzeitfähige Simulation von Handhabungssystemen mit virtuos

Die Bibliothek wurde anhand mehrerer Szenarien erfolgreich erprobt. Insbesondere die numerischen Anforderungen sind bei der Kontaktberechnung sehr hoch,

weswegen spezielle Algorithmen für die Berechnung in Echtzeit entworfen werden mussten.
Die Bibliothek wurde zur vorzeitigen Entwicklung und Test von Steuerungssoftware entwickelt. Für diese Anwendung reichen qualitative Aussage der eintretenden Phänomene während des Prozesses aus, wie beispielsweise Aufstauverhalten, Verklemmungen oder Schlupf der Teile im Handhabungssystem. Hier geht man von der Annahme aus, dass der Prozess ohnehin gewissen Unsicherheiten unterliegt und sich das quantitative Prozessverhalten selbst bei baugleichen Handhabungssystemen unterscheidet. Die Phänomene allerdings müssen immer steuerungstechnisch beherrscht werden.
Für sehr große Systeme mit vielen möglichen Kollisionskörpern sind die Kollisionsalgorithmen für eine Hardware-in-the-Loop Simulation zu rechenaufwendig. Hier werden derzeit neue Methoden im Rahmen des Exzellenzclusters "Simulation Technology" [SimTech] am ISW erforscht.

3.2.2 Schwingungsphänomene

Um Schwingungsphänomene simulieren zu können ist die Berechnung flexibler Körper im Zeitbereich erforderlich. Zu diesem Thema wurden in der Vergangenheit schon Arbeiten am ISW durchgeführt, die es in effizienter Weise zulassen einen flexiblen Körper zu berechnen [Rk2007]. Dabei wurde als Ausgangsmodell ein reduziertes lineares Zustandsraummodell

$$\dot{x}(t) = A_r x(t) + B_r u(t)$$

mit der Systemmatrix $A_r \in \Re^{w \times w}$ und der Eingangsmatrix $B_r \in \Re^{w \times v}$ sowie den Zustandsvektoren $x(t) \in \Re^{w \times 1}$ und den Eingangsvektoren $u(t) \in \Re^{v \times 1}$ herangezogen.
Über eine Ähnlichkeitstransformation kann die Systemmatrix in eine blockdiagonale Form A' mit reellen Koeffizienten gebracht werden, wobei sich die dynamischen Eigenschaften des Systems mit den Abklingkonstanten δ_i und den gedämpften Eigenkreisfrequenzen $\omega_{d,i}$ ergeben:

$$A' = \begin{pmatrix} -\delta_1 & -\omega_{d,1} & 0 & & 0 \\ \omega_{d,1} & -\delta_1 & & & \vdots \\ 0 & & -\delta_2 & & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & -\delta_m \end{pmatrix}$$

Das Ergebnis ist ein in kleine Teilsysteme entkoppeltes System. Die Teilsysteme können unabhängig voneinander effizient im Zeitbereich durch numerische Integration berechnet werden. Diese Methode wurde im Simulationswerkzeug ISG-virtuos für eine Matlab-Schnittstelle umgesetzt. Dabei ist es möglich in einem Betriebspunkt linearisierte Matlab-Modelle in entkoppelter Form in ISG-virtuos einzubinden. Der flexible Körper muss dazu zunächst in Matlab importiert werden und kann dort beispielsweise durch Ergänzungen um Regelungskomponenten erweitert werden. Die Berechnung des Modells findet anschließend in Echtzeit ausschließlich in ISG-virtuos statt. Für eine detaillierte Beschreibung sei hier auf [Rk2007] verwiesen.
Neuere Arbeiten beschäftigen sich mit der Einbindung von reduzierten FE-Modellen direkt aus dem bekannten FE-Werkzeug Ansys. Bei der modalen Reduktion nach [Da2008] wird aus der folgenden Bewegungsgleichung eines flexiblen Körpers

$$M \cdot \ddot{y}(t) + C \cdot \dot{y}(t) + K \cdot y(t) = F(t)$$

mit der externen Kraft $F \in \Re^{n\times 1}$, der Massenmatrix $M \in \Re^{n\times n}$, der Dämpfungsmatrix $D \in \Re^{n\times n}$, der Steifigkeitsmatrix $K \in \Re^{n\times n}$ und den Zuständen $y \in \Re^{n\times 1}$, durch Transformation mit den massenormierten Eigenvektoren $\Phi \in \Re^{n\times n}$ die modale Bewegungsgleichung mit den Zuständen $x \in \Re^{n\times 1}$ im Modalraum:

$$\Phi^{\mathrm{T}} M\, \Phi\, \ddot{\mathrm{x}}(t) + \Phi^{\mathrm{T}} C\, \Phi\, \dot{\mathrm{x}}(t) + \Phi^{\mathrm{T}} K\, \Phi\, \mathrm{x}(t) = \Phi^{\mathrm{T}} F(t).$$

Dabei entstehen folgende entkoppelte Matrizen mit den Eigenkreisfrequenzen ω_j, und den Dämpfungsraten ζ_j:

$$\Phi^{\mathrm{T}} \cdot M \cdot \Phi = \mathrm{E}$$
$$\Phi^{\mathrm{T}} \cdot C \cdot \Phi = \mathrm{diag}\{2\zeta_1\omega_1, \ldots, 2\zeta_m\omega_m\}$$
$$\Phi^{\mathrm{T}} \cdot K \cdot \Phi = \mathrm{diag}\{\omega_1^2, \ldots, \omega_m^2\}$$

Wie bei der Schnittstelle zu Matlab werden die entkoppelten Matrizen in das Echtzeitsimulationswerkzeug ISG-virtuos übertragen. Dabei wurde eine Schnittstelle in Ansys implementiert, welche den Zustandsraum zusammenstellt und exportiert. In ISG-virtuos wurde eine Schnittstelle zum Import umgesetzt, welche zusätzliche Funktionen wie die Vorgabe der modalen Dämpfung und Rayleigh-Dämpfung bietet.
Zur Validierung wurde eine schwach gedämpfte Struktur in Ansys modelliert und modal reduziert (siehe Abbildung 2). Hierbei wurden die ersten 10 Eigenmoden extrahiert und eine modale Dämpfung von 2% vorgegeben. Das Modell wurde daraufhin einmal über die Matlab-Schnittstelle und einmal über Ansys-Schnittstelle in ISG-virtuos importiert. Das Modell wurde dann mit einem Kraftsprung am frei schwingenden Ende angeregt und die Schwingung über die Position am gleichen Knoten aufgezeichnet. Die Aufzeichnung zeigt dabei die dominante erste Eigenfrequenz des Systems.

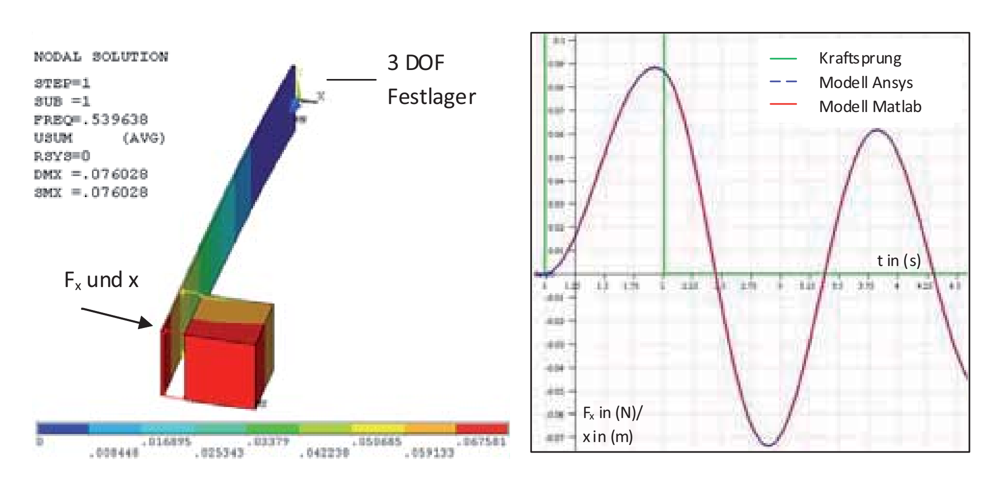


Abbildung 2: Dominante erste Eigenfrequenz der schwach gedämpften Mechanik (links) und Simulation mit Kraftsprung (rechts)

Die Validierung hat gezeigt, dass eine exakte Übereinstimmung zwischen den Modellen aus den unterschiedlichen Schnittstellen existiert. Damit ist die Abbildung von Schwingungsphänomenen in ISG-virtuos für die Hardware-in-the-Loop Simulation möglich, insofern diese entweder in Matlab oder Ansys abgebildet werden können. Durch die Schnittstellen zu den bekannten Simulationswerkzeugen Matlab und Ansys wird zudem ein breiter Anwenderkreis angesprochen und unterstützt.

4. Wiederverwendbare Modelle, der Schlüssel zum Erfolg

Wesentlich für die zügige Erstellung von Maschinen- oder Anlagenmodellen ist die Verfügbarkeit virtueller Baugruppen in Form von Teilmodellen. Stehen virtuelle Baugruppen zur Verfügung, so lassen sich virtuelle Maschinen sehr effizient erstellen. Abbildung 3 zeigt die Erstellung einer virtuellen Baugruppe und deren Verwendung.

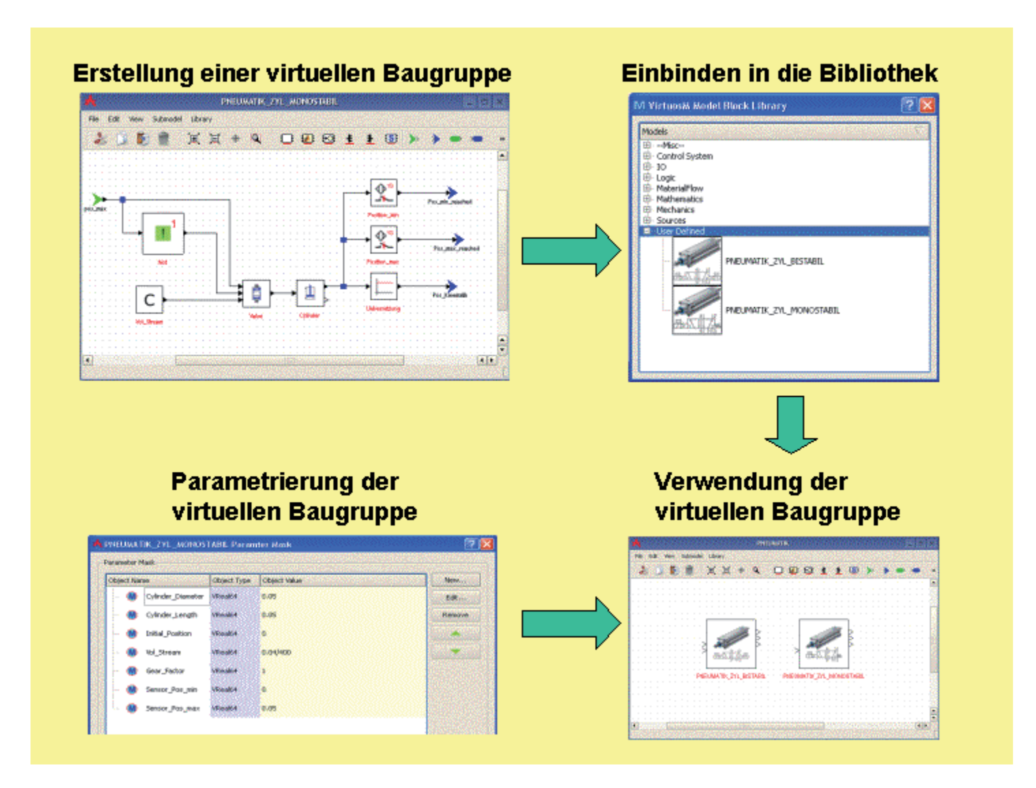


Abbildung 3: Erstellung und Verwendung von virtuellen Baugruppen (Beispiel: Simulationswerkzeug ISG-virtuos zur HILS)

Der Aufbau von Modellen verschiedener Maschinenvarianten kann auf Basis der virtuellen Baugruppen effizient durchgeführt werden, idealerweise automatisch anhand einer Maschinenkonfigurationliste (Bsp. aus SAP). Damit werden virtuelle Maschinen auf Knopfdruck äußerst wirtschaftlich realisierbar.

Die Firma Weeke, ein Unternehmen der Homag Gruppe, hat mit ISG-virtuos ein leistungsfähiges CNC-Holz-Bearbeitungszentrum Optimat BHX 500 zur Fertigung von Küchen, Büromöbeln, Türen und Massivholzmöbel realisiert.
Im dem komplexen Bearbeitungsaggregat arbeiten u. a. je nach Kundenwunsch bis zu 32 vertikale und bis zu 20 horizontale Bohrspindeln die jeweils einzeln pneumatisch ein- und ausgefahren werden können. So wie Weeke die Spindelsysteme als mechatronische Baugruppen begreift, wurden entsprechend virtuelle Baugruppen realisiert und mehrfach wiederverwendet. So war es möglich in weniger als einer Woche die virtuelle Maschine zu erstellen. Eine weitere Besonderheit ist, dass die virtuelle Maschine in der Originalsteuerung (Beckhoff TwinCAT-CNC) eingebunden wurde.

Zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit wurde das Maschinenkonzept durch Weeke um weitere Servoachsen u.a. zur Bearbeitung horizontaler Taschen und Bohrungen erweitert (BHX 560). Mit wenigen Handgriffen zeigte die virtuelle Maschine die Richtigkeit des Konzeptes. Bevor die reale Maschine überhaupt realisiert wurde, waren Bewegungs- und SPS-Programme mit ihren komplexen Steuerungsfunktionen optimiert und die Produktivität der Maschine nachgewiesen.

Abbildung 4 zeigt das virtuelle Bearbeitungszentrum BHX 560 der Firma Weeke.

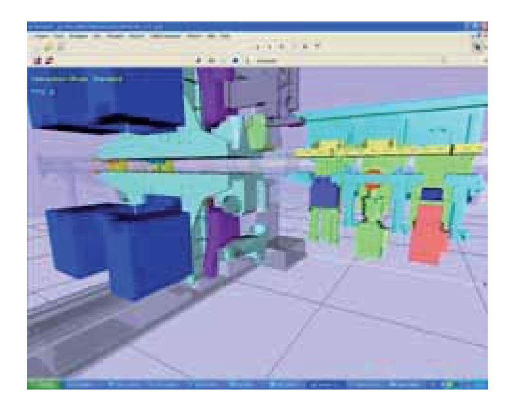
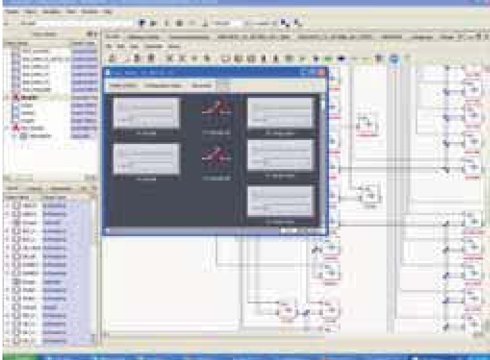



Abbildung 4: Das virtuellen Bearbeitungszentrums BHX 560 der Firma Weeke in ISG-virtuos

5. Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass die Modellierung idealisierter Maschinenfunktionen Teilmodelle für logisches, kinematisches und dynamisches Verhalten erfordert. Dies sind die Mindestanforderungen an eine Simulation für die virtuelle Inbetriebnahme. ISG-virtuos erfüllt diese Anforderungen für die Hardware-in-the-Loop Simulation mit realen Steuerungssystemen.

Physikalische komplexe Phänomene sind in einigen Applikationen, wie beispielsweise für Handhabungssysteme oder hochdynamische Produktionssysteme erforderlich. Durch eine enge Zusammenarbeit in verschiedenen Verbundprojekten zwischen der Fa. ISG und dem ISW an der Universität Stuttgart konnten einige Forschungsergebnisse in dem Produkt ISG-virtuos bereits industriellen Einsatz finden.

Für den Einsatz virtueller Maschinen und Anlagen im Bereich der virtuellen Inbetriebnahme ist die effiziente Erstellung von Verhaltensmodellen gefordert.
Dabei werden Mehraufwendungen zu Beginn nur dann akzeptiert, wenn diese auf lange Sicht zu Kosteneinsparungen und Qualitätssteigerungen an realen Maschinen und Anlagen führen. Dieses Ziel kann u. a. nur durch die Realisierung wiederverwendbarer, parametrierbarer, virtueller Baugruppen erreicht werden. Am Beispiel eines komplexen Bearbeitungszentrums der Fa. Weeke konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe der Simulation die Leistungsfähigkeit einer Maschine effizient gesteigert werden kann.

6. Literatur

[Sle2007] Scheifele, D.; Eger, U.; Röck, S.; Sekler, P.: Potentiale der Hardware-in-the-Loop Simulation für Maschinen und Anlagen. SPS/IPC/Drives November 2007, Tagungsband, pp. 555-565, VDE Verlag GmbH, 2007

[SimTech] http:\\www.simtech.uni-stuttgart.de

[Rk2007] Röck, S.; Pritschow, G.: Real-Time capable Finite Element Models with Closed-Loop Control - a Method for Hardware-in-the-Loop Simulation of flexible Systems. WGP-Annals XIV/1, Production Engineering Research & Development, S.37-S.43., 2007

[Da2008] Dadalau, A.; Wosnik, M.; Croon, N.; Wadehn, W.; Verl, A.: Steigerung der Effizienz bei der Modellierung und Simulation von komplexen FE-Modellen. ABS Treffen Stuttgart, 19. - 20. Juni 2008. Aachen: VDI Verlag GmbH, 2008 (Fortschritt-Berichte VDI, Fertigungstechnik, Nr.668), 2008

7. Autoren

Dr.-Ing. Dieter Michael Scheifele
Geschäftsführender Gesellschafter

ISG-Industrielle Steuerungstechnik GmbH
Rosenbergstr. 28
70174 Stuttgart

Telefon: 0711 229 9230
E-Mail: dieter.scheifele@isg-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Ulrich Eger
Bereichsleiter Simulationstechnik

ISG-Industrielle Steuerungstechnik GmbH
Rosenbergstr. 28
70174 Stuttgart

Telefon: 0711 229 9231
E-Mail: ulrich.eger@isg-stuttgart.de

Prof.(jun.) Dr.-Ing. Sascha Röck
Juniorprofessor für Angewandte Simulation in der Produktionstechnik

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
Universität Stuttgart
Seidenstr. 36
70174 Stuttgart

Telefon: 0711 685 84523
E-Mail: sascha.roeck@isw.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Peter Sekler
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
Universität Stuttgart
Seidenstr. 36
70174 Stuttgart

Telefon: 0711 685 82769
E-Mail: peter.sekler@isw.uni-stuttgart.de

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Digitale Produktentwicklung

Visualisierung und Konvertierung in der Engineering-Kollaboration

Dr. Alain Biahmou
Dr. Arnulf Fröhlich
Dr. Josip Stjepandic

Lebenslauf



Dr. Alain Biahmou

Senior Consultant

PROSTEP AG
Dolivostraße 11
64293 Darmstadt

Telefon: 06151 9287 372
E-Mail: alain.biahmou@prostep.com

1996 – 2001	Diplomstudium Maschinenbau an der TU-Berlin
2001 – 2006	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU-Berlin, Fachgebiet Industrielle Informationstechnik - Promotion auf dem Gebiet der virtuellen Realität
seit Februar 2006	Senior Consultant bei der PROSTEP AG im Competence Center CA-Technologie Tätigkeitsschwerpunkte: - CAD-Methodik - Collaborative Engineering - Software Architektur - Geschäftprozessoptimierung - Visualisierungsformate (z.B. JT, 3D-XML)

Lebenslauf



Dr. Arnulf Fröhlich

Teamleiter CA-Prozesse

PROSTEP AG
Dolivostraße 11
64293 Darmstadt

Telefon: 06151 9287 365
E-Mail: arnulf.froehlich@prostep.com

1993 – 1998	Diplomstudium Maschinenbau an der TU-Darmstadt
1998 – 2003	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, TU-Darmstadt - Promotion auf dem Gebiet der virtuellen Produktentstehung
2004 – 2005	Senior Consultant bei der PROSTEP AG im Competence Center CA-Technologie
seit Januar 2006	Teamleiter bei der PROSTEP AG für das Thema CA-Prozesse Verantwortungsbereich und Tätigkeits-schwerpunkte: - Durchgängige CAx-Prozesse - Methoden für CA-Zuliefererintegration - Vereinfachte Formate JT, 3D-PDF, 3D-XML - Koordination der ProSTEP iViP Projektgruppen JT Workflow Forum sowie JT Benchmark

Lebenslauf



Dr. Josip Stjepandic

Leiter des Competence Centers CA
Technologie

PROSTEP AG
Dolivostraße 11
64293 Darmstadt

Telefon: 06151 92 87 363
E-Mail: josip.stjepandic@prostep.com

2.4.1961	Geburtsdatum
1967 - 1978	Schulausbildung im ehemaligen Jugoslawien
1978 - 1983	Studium des Maschinenbaues an der Universität Zagreb
1983 - 1985	Promotion zum Dr. techn. an der TU Graz
1986 - 1988	Berechnungsingenieur bei der Steyr-Daimler-Puch Fahrzeugtechnik in Graz
1988 - 1994	Gruppenleiter CA-Techniken bei der WABCO-PERROT BREMSEN GMBH in Mannheim
1994 - 1996	Professor für Informatikanwendungen im Maschinenbau an der FH Dortmund
Seit 1996	bei der PROSTEP AG

Visualisierung und Konvertierung in der Engineering-Kollaboration

Dr. Alain Biahmou, Dr. Arnulf Fröhlich, Dr. Josip Stjepandic

1. Ausgangssituation

Die Notwendigkeit der CAD-Konvertierung ist beinahe so alt wie die CAD-Systeme selbst. Auch wenn die Konvertierungstechnologie als ausgereift und robust gilt, besteht der permanente Bedarf zur Weiterentwicklung, getrieben durch die geschäftskritischen Prozesse wie DMU als zentralen Absicherungsprozess.

Andererseits haben die CAD-Modelle längst die Komplexitätsschwelle überschritten, wo sie noch als einfach handhabbar galten. Mittlerweile haben sich verschiedene 3D-Visualisierungsformate auf breiter Front durchgesetzt, die einen hohen Informationsgehalt mit einer einfachen Bedienung und guter Performance vereinen. Darüber hinaus können damit auch mehrere Prozessketten der DMU Absicherung unterstützt werden.

Durch die rasche Verbreitung der Visualisierungsformate wurde die nicht ganz neue Diskussion erneut entfacht, inwieweit ein einheitliches Format die Belange der Engineering-Kollaboration (intern und extern) abdecken kann.

2. Problemstellung

3D-Visualisierung von Produktdaten gilt mittlerweile als selbstverständlich, begründet durch den durchgängigen Einsatz von 3D-CAD-Systemen in der Produktkonstruktion sowie ein attraktives Preis-/Leistungsverhältnis und breites Anwendungsspektrum der erforderlichen Visualisierungsapplikationen. Anwendungsgebiete liegen in den der Konstruktion nachgelagerten Bereichen (Simulation, Absicherung, Fertigungsvorbereitung, Vertrieb, Marketing und Kundendienst). Einer der herausragenden Anwendungsfälle ist die Unterstützung der Zusammenarbeit in der Produktentwicklung (Kollaboration). So wurde die unternehmensübergreifende Kooperation durch den Einsatz von 3D-Visualisierungsdaten zum Gegenstand einer VDA-Empfehlung [VDA07] und internationaler Initiativen [SAS05].

Infolgedessen penetriert die 3D-Visualisierung immer mehr Anwendungsgebiete, die bis dahin den CAD-Systemen und deren nativen bzw. neutralen Formaten (STEP, IGES, VDAFS) vorbehalten waren. CAD als Anwendung wird dadurch auf reines Autorenwerkzeug reduziert. Ferner werden durch die neuesten Entwicklungen auf Basis sog. intelligenter Dokumente Anwendungsgebiete für die 3D-Visualisierung erschlossen und die entsprechende Software entwickelt, die auf Grund bescheidener Ansprüche an die Hard- und Software durchaus an jedem Arbeitsplatz angewendet werden können. So gesehen wird die Vision "3D für alle" zur Realität bei durchaus vertretbaren Kosten.

Das Spannungsfeld der 3D-Nutzung und der passenden 3D-Formate ist in der Abb. 1 schematisch dargestellt. Eine zusätzliche Komplexitätsstufe entsteht bei einer unternehmensübergreifenden Anwendung wie sie in der Automobil- oder Luftfahrtindustrie vorliegt. Da sich die Anwendungsgebiete einzelner Formate durchaus überschneiden und die einzelnen Marktteilnehmer ohnehin hegemonistische Ziele verfolgen, drängt sich die Frage auf, ob durch eine Prozessharmonisierung und Normung die Vielfalt an Formaten und Anwendungen zum Vorteil der Endanwender eingedämmt werden könnte. Vielmehr wäre es sehr erstrebenswert,

das Aufgabenfeld Engineering-Kollaboration, durch ein Format weitest gehend abzudecken, ohne die Software- Applikationen dafür vorzuschreiben.

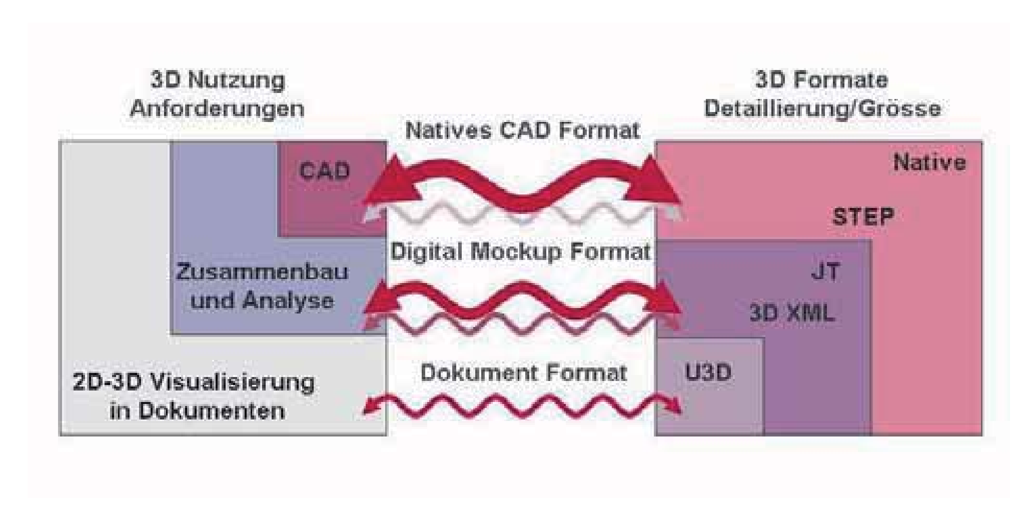


Abbildung 1: Spannungsfeld der 3D-Nutzung und der passenden 3D-Formate

3. Vorgehensweise

Zur Erreichung ambitionierter Ziele wurde von der deutschen Industrie eine pragmatische Vorgehensweise gewählt, die sich z.B. bei der Entwicklung und Implementierung der STEP-Norm (ISO 10 303) bereits bewährt hatte [PSi03]. Einerseits wurde beim ProSTEP iViP e.V. eine Arbeitsgruppe [PSi09] eingesetzt, die sich die Definition und Implementierung von Referenzprozessen zum Ziel gesetzt hat.

Dazu werden die verschiedenen IST-Prozesse aufgenommen und analysiert, um entsprechende Referenzprozesse zur Harmonisierung des Austauschs von Visualisierungsdaten unabhängig von verwendeten CAD-Systemen auszuarbeiten. Derzeit stehen folgende Szenarien im Vordergrund:

- Design in Context
- Zuliefererintegration
- Konstruktionsprüfung und -freigabe
- Fertigungsvorbereitung

Alleine diese Auflistung zeigt auf, dass die Bedürfnisse der beteiligten Industrie weit über die übliche 3D-Visualisierung von Produktdaten hinaus gehen. Im schematischen Prozessschaubild eines typischen Automobilherstellers sind die Prozesse mit Ziffern (Abb. 2) markiert, die sich potenziell mit einem universellen 3D-Format abdecken lassen, das die Anforderungen der typischen CAD-Konvertierung sowie der CAD-Visualisierung gleichermaßen erfüllt. Daher wurde die PROSTEP AG beauftragt, die marktfähigen Software-Produkte der interessierten Vendoren auf ihre Praxistauglichkeit zu prüfen und. ggf. Verbesserungsvorschläge zu erarbeiten.

Einen besonderen Stellenwert erhielt von vornherein das Datenformat JT (Jupiter Tesselation) der Firma Siemens PLM Software, das sich in den letzten Jahren in der Engineering-Visualisierung rasch verbreitet hatte. Insofern erschien es ratsam, die Untersuchungen bei diesem Format zunächst einzuleiten, ohne die anderen Formate grundsätzlich auszuschließen. In den Vorarbeiten wurde die grundsätzliche Eignung des JT-Formats für die Austausch- und Konvertierungsaufgaben [PSi05] bereits theoretisch beleuchtet. Zudem wurde in der Zwischenzeit sowohl die JT-Format-Spezifikation offen gelegt als auch der Normungsprozess bei der

ISO angestoßen. JT hat wegen seiner "Container-Struktur" einen großen Vorteil, dass eine JT-Datei sowohl die exakte als auch die tesselierte Produktrepräsentation in unterschiedlichen Ausprägungen (BREP, XT) samt PMI (Product Manafucaturing Information) enthalten kann.

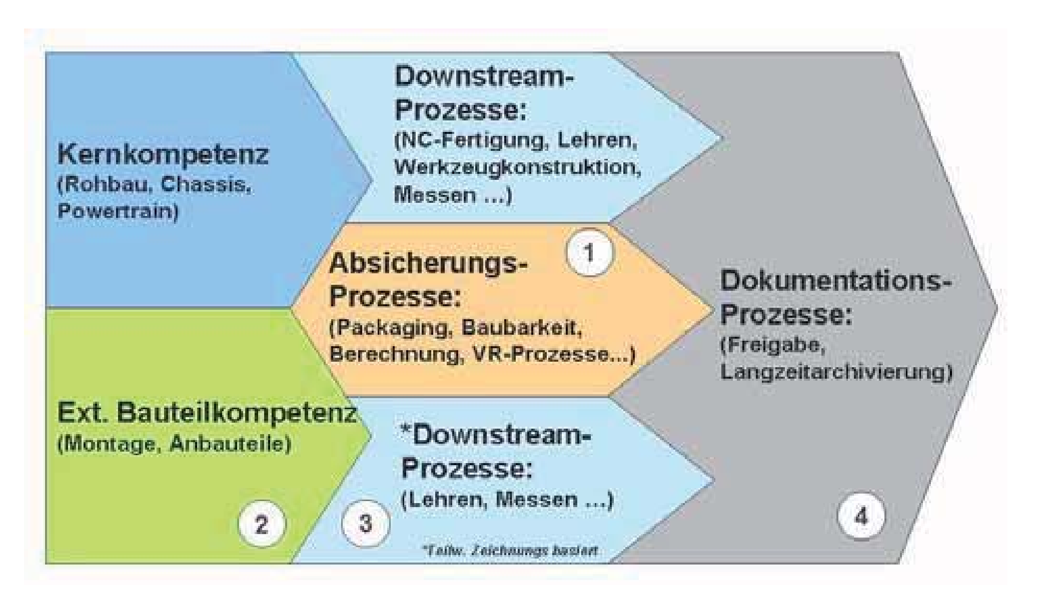


Abbildung 2: Potenzielle Anwendungsfelder für ein universelles 3D-Format

4. Testmethodik und -ergebnisse

Vier Szenarien wurden im Rahmen der Untersuchung betrachtet, wobei sowohl synthetische als auch produktive Modelle in den CAD-Systemen CATIA V5, Pro/ENGINEER und NX, die in der Automobilindustrie besonders relevant sind, eingesetzt wurden. Die Modelle in den Quellsystemen wurden so gewählt, dass verschiedene Eigenschaften der Prozessoren umfassend getestet werden können. Als Zielsystem diente CATIA V5 - wie in der praktischen Anwendung.

Bei allen Szenarien wurde eine Konvertierung der nativen Daten nach JT durchgeführt, wobei die erzeugte JT-Daten überprüft wurden. In allen Fällen wurde eine umfassende Sichtprüfung der JT-Dateien durchgeführt. Dabei sollte fest gestellt werden, ob einzelne Geometrieelemente korrekt übertragen wurden und ob die Farben der Originaldaten mitkonvertiert wurden.

Bei den Sichtprüfungen der JT-Daten konnte die Qualität der JT-Breps zunächst nicht überprüft werden, weil gängige Viewer „nur“ die tessellierte Geometrie visualisieren. Dieser Umstand hat die eindeutige Fehlerzuordnung im Problemfall wesentlich erschwert. Eine Überprüfung der Brep-Datenstruktur konnte durch die Auswertung der Logdateien sowie die Rückkonvertierung in CAD-Systeme durchgeführt werden.

Zusätzlich wurden Konvertierungen mit STEP durchgeführt, um die fest gestellten Ergebnisse und sonstigen Beobachtungen den Konvertierungen über STEP gegenüber zu stellen. Hierfür standen bereits die nahezu perfekten Ergebnisse des STEP Benchmarks [PSi03] als Referenz zur Verfügung.

Die durchgeführten Auswertungen waren nicht nur rein visueller, sondern auch metrischer und struktureller Natur. So wurde überprüft, ob die Geometrie nach dem Reimport nach CATIA V5 vollständig konvertiert wurde. Zusätzlich wurde untersucht, ob die Farben mitkonvertiert wurden. Ein weiterer Faktor, der nicht nur für

das Verbauen der Teile, sondern auch für die Arbeitsvorbereitung und Fertigung eine Rolle spielt, ist die Übertragung von Flächeninformationen, die u.U. besonders folgenschwere Modellfehler indiziert (Abb. 3).

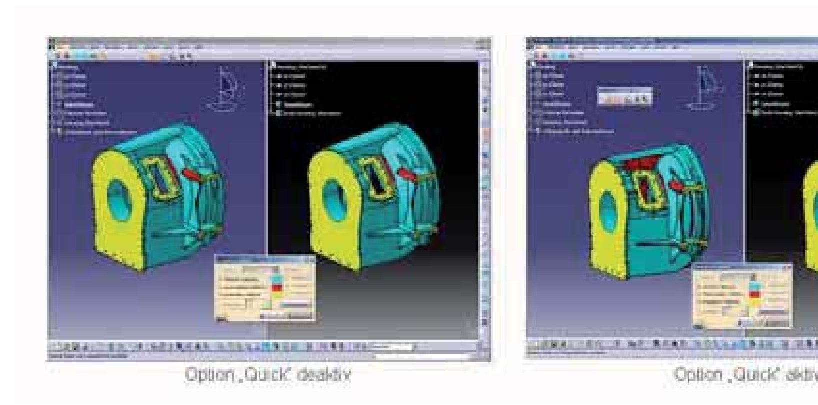


Abbildung 3: Testmethodik Flächenvergleich

Die Ausgangsdaten wurden außerdem vor und nach der Konvertierung in Hinsicht auf die Datenqualität mit allgemeinen (VDA 4955) und spezifischen Kriterien deutscher Automobilhersteller überprüft. Hierfür wurden die Werkzeuge Q-Checker für CATIA V5, CHECK Geometry für Pro/Engineer und CheckMate für NX eingesetzt. Die Validierungskriterien (Oberfläche, Volumen, Schwerpunkt und Trägheitsmomente) wurden vor und nach der Konvertierung überprüft, wobei absolute sowie relative Abweichungen ermittelt wurden.

Darüber hinaus wurden weitere Parameter wie die Krümmungen der Flächen, die Flächenverbindungen so wie die Ähnlichkeit der Modelle vor und nach der Konvertierung überprüft. Die Modelle, die dieser umfassenden Prüfung fehlerfrei stand halten, können folglich als Praxis tauglich bezeichnet werden.

Insgesamt lieferte der Benchmark befriedigende Ergebnisse. Es konnten nahezu alle Testmodelle übertragen werden. Vielmehr gab es mitunter komplexe Praxismodelle, die fehlerfrei konvertiert werden konnten. Es soll allerdings nicht verschwiegen werden, dass sowohl eine Vielzahl von typischen Konvertierungsproblemen als auch beträchtliche Streuung in der Leistungsfähigkeit einzelner JT-Prozessoren beobachtet wurde. Demzufolge konnte noch keine Empfehlung zum produktiven Einsatz zum Zeitpunkt der Untersuchung ausgesprochen werden, wenn auch die Benchmark-Ergebnisse die Weiterentwicklung und Optimierung der getesteten Software durchaus rechtfertigen.

Störend war es u.a., dass Regelgeometrien nicht mehr als solche in CATIA V5 erkennbar waren. Dadurch wurde es nicht mehr möglich, u.a. Kongruenzbedingungen, Mittellinien sowie Mittelpunkte zu definieren. Diese Funktionen sind im Baugruppenkontext jedoch von entscheidender Bedeutung (z.B. wenn Teile verbaut werden).

Eines der typischen Konvertierungsprobleme, die auch aus der STEP-Entwicklung hinlänglich bekannt sind, zeigt die Abb. 4. Solche Probleme sind vornehmlich auf die bislang geringe Abstimmung einzelner Vendoren in der JT-Entwicklung zurück zu führen. Es wird dem im ProSTEP iViP e.V. noch zu gründenden JT Implementors Forum vorbehalten bleiben, die Wege zur Fehlerbehebung und Erzielung höherer Robustheit, wie sie bei den STEP-Prozessoren mittlerweile erreicht ist, den Vendoren aufzuzeigen.

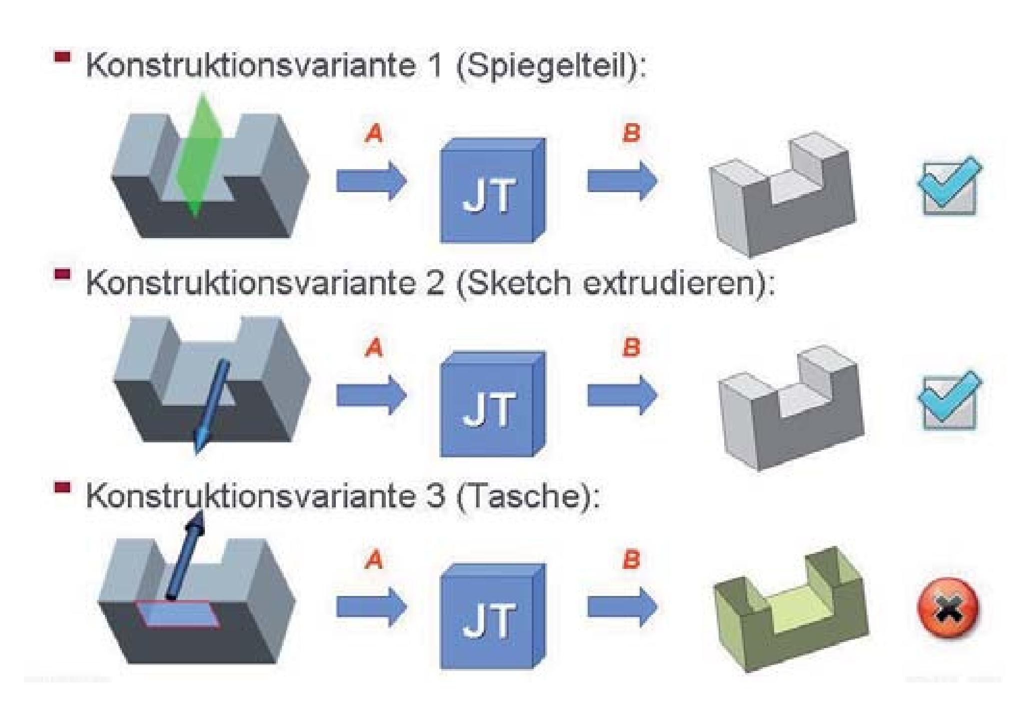


Abbildung 4: CAD-Methodik abhängiges Konvertierungsproblem

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurden die vielfältigen Anforderungen an die Engineering-Kollaboration, die typischen Praxisprobleme mit den marktfähigen Tools sowie die praktischen Lösungen auf Basis der universellen 3D-Formate vorgestellt.

Im Vortrag werden ferner die Benchmark-Ergebnisse und die Erfahrungen aus aktuellen Entwicklungsprojekten geschildert sowie der Ausblick auf anderweitige Anwendungsfälle gegeben.

Der Einsatz universeller 3D-Formate wie JT eröffnet eine ganz neue Perspektive in der Optimierung der Engineering-Kollaboration. Der bislang erreichte technologische Stand ist sehr ermutigend und lässt erwarten, dass in Kürze der technologische Stand von STEP bei der Konvertierung eingeholt wird. Somit wird eine technologische Basis zur Verfügung stehen, die die unternehmensübergreifende Prozesse entscheidend zu verändern hilft.

Nichtsdestotrotz muss betont werden, dass eine Zusammenarbeit der Prozessorenhersteller notwendig ist, damit gleiche Konvertierergebnisse erzielt werden. Die Implementierung von Aufbereitungsfunktionen, um JT-Daten vor der Konvertierung anzupassen, könnte problematisch sein, weil zu erwarten ist, dass sich die Anzahl von JT-Prozessoren auf dem Markt erhöht. Es ist außerdem nicht auszuschließen, dass die Spezifikation des JT-Formats nicht eindeutig ist und deshalb zu unterschiedlichen Interpretationen führt. Auch diesbezüglich ist eine Kooperation der Prozessorenhersteller notwendig.

6. Literatur

[PSi03] N.N.: 2003, 8th STEP Processor Benchmark, ProSTEP iViP e.V., Darmstadt, verfügbar unter: http://www.prostep.org/fileadmin/freie_downloads/Benchmarks/ProSTEP-iViP_Benchmark-Short-Report_8_1.0.pdf

[PSi05] Anderl, Reiner; Heeg, Claus; Stöcker, Pamela: Projektstudie zur Bewertung des Datenformats JT; ProSTEP iViP e.V., Darmstadt, verfügbar unter: http://www.prostep.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=4&file=fileadmin/gesicherte_downloads/WhitePaper-Studien/ProSTEP_iViP_Study_JTdeutsch_1.0.pdf&t=1239978715&hash=878c208bf2d2ffcb52f80575ed287542

[PSi09] PDM User Group, ProSTEP iViP e.V., Darmstadt, verfügbar unter http://www.prostep.org/de/projektgruppen/pdm-user-group.html

[SAS05] N.N., 2005, Digital Engineering Visualization, SASIG, SASIG Guideline

[VDA07] N.N., 2007, Collaborative Product Visualisation - General issues and use case description, Frankfurt, VDA, VDA Empfehlung 4966

7. Autoren

Dr. Alain Biahmou
Senior Consultant

PROSTEP AG
Dolivostraße 11
64293 Darmstadt

Telefon: 06151 92 87 372
Telefax: 06151 92 87 326
E-Mail: alain.biahmou@prostep.com

Dr. Arnulf Fröhlich
Teamleiter CA-Prozesse

PROSTEP AG
Dolivostraße 11
64293 Darmstadt

Telefon: 06151 92 87 365
Telefax: 06151 92 87 326
E-Mail: arnulf.froehlich@prostep.com

Dr. Josip Stjepandic
Leiter des Competence Centers CA Technologie

PROSTEP AG
Dolivostraße 11
64293 Darmstadt

Telefon: 06151 92 87 363
Telefax: 06151 92 87 326
E-Mail: josip.stjepandic@prostep.com

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Digitale Produktentwicklung

Durchgängige Virtualisierung der Entwicklung und Produktion von Fahrzeugen

Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Pinner
Dr.-Ing. Steffen Kulp

Lebenslauf



Sebastian Pinner

Konzernproduktionsplanung
Technologie-Management

Volkswagen AG
Brieffach 1349
38436 Wolfsburg

Telefon: 05361 986 573
E-Mail: sebastian.pinner@volkswagen.de

28.06.1980	geboren in Erlabrunn (Breitenbrunn/ Erzgebirge)
09/1987 – 07/1991	Hans-Beimler-Oberschule Gehringswalde
09/1991 – 07/1999	Gymnasium Marienberg Abschluss: Allg. Hochschulreife
09/1999 – 06/2000	Grundwehrdienst: 2. Pionierbataillon 701 Gera
10/2000 – 9/2002	Studium Wirtschaftsinformatik TU – Chemnitz
10/2002 – 11/2007	Studium Maschinenbau Hochschule Zittau/Görlitz University of Applied Sciences Abschluss: Dipl.-Ing. (FH)
04/2005 – 10/2005	BMW AG Werk Dingolfing Bereich: Karosseriebau – Strukturplanung Arbeitsgebiet: Digitale Fabrik
08/2006 – 08/2007	BMW Group München, Forschungs- und Innovationszentrum Bereich: Betriebsfestigkeit und Werkstoffe Arbeitsgebiet: mikrostrukturelle Werkstoffmodellierung von Metall-Matrix-Verbundwerkstoffen
05/2008 – heute	Volkswagen AG, Wolfsburg Bereich: Konzernproduktionsplanung Arbeitsgebiet: Prozesskettensimulation Karosseriebau – virtuelle Produktabsicherung
10/2008 – heute	Promotionsstudium Maschinenbau Technische Universität Chemnitz

Durchgängige Virtualisierung der Entwicklung und Produktion von Fahrzeugen

Prof. Dr.-Ing. Birgit Awiszus, Dipl.-Ing. Alexander Hoffmann, Dr.-Ing. Steffen Kulp, Tobias Menke, Dipl.-Ing. Florian Peinemann, Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Pinner, Prof. Dr.-Ing. Martin Rambke, Stefan Rudolph, Dr.-Ing. Christoph Runde, Jochen Steinbeck, Dr.-Ing. Cord Steinbeck-Behrens, Dipl.-Ing. Robert Struck, Dr.-Ing. Matthias Trier, Dr.-Ing. Hubert Verhoeven

Abstract

Das Bestreben der Industrie, bei der Planung von neuen Produkten die Kosten für Entwicklungen und Prototypenbau immer weiter zu reduzieren, begründet ein starkes Interesse an der Simulation des Gesamtprozesses. Bisher können Daten zwischen den Simulationsprogrammen für einzelne Prozesse meistens nur von Hand übertragen werden. Automatische Verknüpfungen dieser Werkzeuge, die zumeist von unterschiedlichen Herstellern stammen, gibt es kaum. Im Rahmen eines öffentlich geförderten Projektes wird momentan an der Weiterentwicklung bestehender Methoden und Tools gearbeitet. Konkrete Ziele sind die Realisierung notwendiger Schnittstellen zwischen Simulationsprogrammen, eine Integration von Simulationsdaten in PDM-Systeme sowie die Entwicklung von gatebasierten Referenzprozessen.

Schlagwörter: Simulation, Prozesskette, Automobilbau, fertigungsgerechte Produktentwicklung, Schnittstellen, Mapping, Datenmanagement, Karosseriebau

1. Einleitung

Die Automobilindustrie ist durch kürzer werdende Produktlebenszyklen, hochkomplexe Produkte, eine Zunahme an Varianten sowie einem globalen Wettbewerb gekennzeichnet.
Die Absicherung der Produkteigenschaften erfolgt entsprechend der Entwicklungsdisziplinen (Aufbau, Aggregate, Fahrwerk, etc.) mit unterschiedlichen Simulationsmethoden. Eine virtuelle Absicherung der Herstellbarkeit entlang der Produktionsprozesskette (Einzelteil, Karosseriebau, Lackierung) findet nachfolgend in den Planungsbereichen statt (Abbildung 1). Durch die vornehmlich disziplinorientierte Arbeitsweise und eine fehlende Transparenz erfolgt die Validierung der Herstellbarkeit erst nach maßgeblicher Produktgestaltung. Weiterhin ist ein prozessübergreifender Ergebnistransfer (Umformung, Fügen, Lackierung) auf Grund fehlender Schnittstellen und methodischen Unterschieden in den Prozesssimulationen heute noch nicht möglich. Darüber hinaus werden heute fertigungstechnische Einflüsse auf die Produkteigenschaften (insbesondere die Crashperformance) immer noch nicht detailliert erfasst und während der Produktentwicklung berücksichtigt.

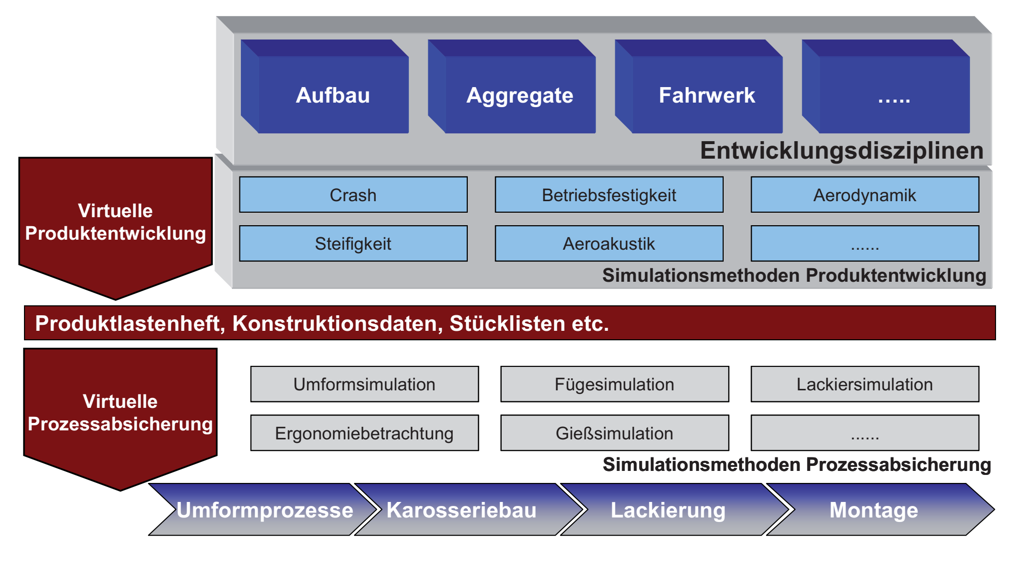


Abbildung 1: Virtuelle Produktentwicklung und Prozessabsicherung.

In den letzten Jahren hat neben der Automatisierung in vielen Bereichen der Produktionstechnik das Engineering mit CAE-Werkzeugen Einzug gehalten (Computer Aided Engineering). Für die Entwicklung und Planung von Produkten, Maschinen und Anlagen sind leistungsfähige Methoden und Softwareapplikationen entstanden. Gerade kritische Bereiche, wie z.B. Festigkeitsbetrachtungen, Umformtechnik, thermische Belastungen oder Schweißanwendungen, sind inzwischen durch Simulationswerkzeuge abgedeckt, mit denen virtuell Optimierungen vorgenommen werden können. Somit sind CAE-Technologien nicht als Neuerung zu betrachten, da sie in vielen Bereichen der Produktentstehung als Einzelanwendung schon integriert sind. Jedoch handelt es sich meist um isolierte Insellösungen, die einen bestimmten Problembereich behandeln, und nicht um durchgängige Planungsinstrumente.
Es fehlt insbesondere eine auf der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) basierte Verknüpfung zwischen der Konstruktion und Entwicklung auf der einen Seite und der Fertigungsplanung auf der anderen Seite. Bisher können Daten zwischen den Simulationsprogrammen für einzelne Prozesse meistens nur von Hand übertragen werden. Übertragungs-Tools – wenn überhaupt vorhanden – verbinden maximal zwei Glieder der Simulationskette, wie z.B. der SCAI-Mapper zwischen Umform- und Crashsimulation. Automatische Verknüpfungen dieser Werkzeuge, die zumeist von unterschiedlichen Herstellern stammen, gibt es kaum. Strategien zur Datenhaltung im Sinne des Produktdatenmanagements befinden sich noch im Forschungsstadium.
In der Folge können bisher Änderungen, die sich in einem Bereich ergeben, nur mit hohem Aufwand im anderen Bereich berücksichtigt werden. Fehler in der Produktentwicklung können nach wie vor erst spät aufgedeckt werden und verursachen hohe Kosten. Es fehlen prozessübergreifende Werkzeuge.

2. Elemente einer virtuellen Automobilentwicklung und Produktion

Im Fahrzeugbau besteht die Anforderung, dass die Dauer des Produktentstehungsprozesses aus Kosten- und Wettbewerbsgründen weiter gesenkt wird. Die Herstellungsprozesse haben umfangreichen Einfluss auf die Produkteigenschaften. Um zukünftig die Produkteigenschaften frühzeitig genau bewerten zu können, müssen Fertigungseinflüsse in der Simulation berücksichtigt werden.
Die Produkteigenschaften resultieren aus der Summe der durchlaufenen Prozesse, die sich gegenseitig überlagern und beeinflussen. Besonders Verzug und Eigenspannungen bedingen sich gegenseitig und können sich negativ auf die erforder-

lichen Produkteigenschaften, wie z.B. Form- und Maßhaltigkeit oder das Crash-Verhalten, auswirken.

Wechselwirkungen innerhalb der Prozesskette Presswerk-Karosseriebau-Lack sind beispielsweise:

- die Blechdicken- und Spannungsverteilung im Bauteil nach dem Tiefziehen
- die Entstehung von lokalen Entfestigungen und Spannungen in den Bauteilen durch thermische Fügeverfahren
- die Induzierung thermischer Spannungen in der Karosserie durch hohe Temperaturen im Lacktrockner (unterschiedliche lokal vorliegende Wärmekapazitäten durch Blechdickenverteilung in den Bauteilen)

Ziel ist daher die Verknüpfung von Produktentwicklung und Fertigungstechnik zu einer durchgängigen, digitalisierten und kooperativen Entwicklungs- und Produktionsplanung. Die erforderlichen CAE-Systeme sollen übergreifend integriert werden und eine fertigungsgerechte Konstruktion von Bauteilen ermöglichen, die bisher aufgrund organisatorischer und prozessualer Unzulänglichkeiten nicht umgesetzt werden konnte. Um dies zu realisieren ist die Entwicklung nachfolgend beschriebender Tools und Softwaresysteme notwendig.

2.1. Modulcockpit

Um Transparenz entlang der Prozesskette zu schaffen, wird während des Projektes ein Modulcockpit realisiert. Jeder relevante Prozess muss erst abgesichert bzw. für jedes relevante Einzelteil muss die Herstellbarkeit gegeben sein, bevor es durch eine „grüne Ampel“ für den nächsten Fertigungsprozess freigegeben wird. Aus den Einzelteilen der Umformung entstehen in der nächsten Stufe Baugruppen, die auf ihre Fügbarkeit zu prüfen sind. Dann werden die Baugruppen zur Karosserie zusammengesetzt. Die Lackaushärtung im Trockner darf bei der Karosserie keine plastischen Deformationen hinterlassen. Bis das fertige Produkt vorliegt, müssen alle „Ampeln auf Grün“ stehen. Das Modulcockpit schafft somit eine maximale Transparenz für alle Beteiligten, und der Reifegrad der Produktionsplanung ist jederzeit abrufbar (Abbildung 2).

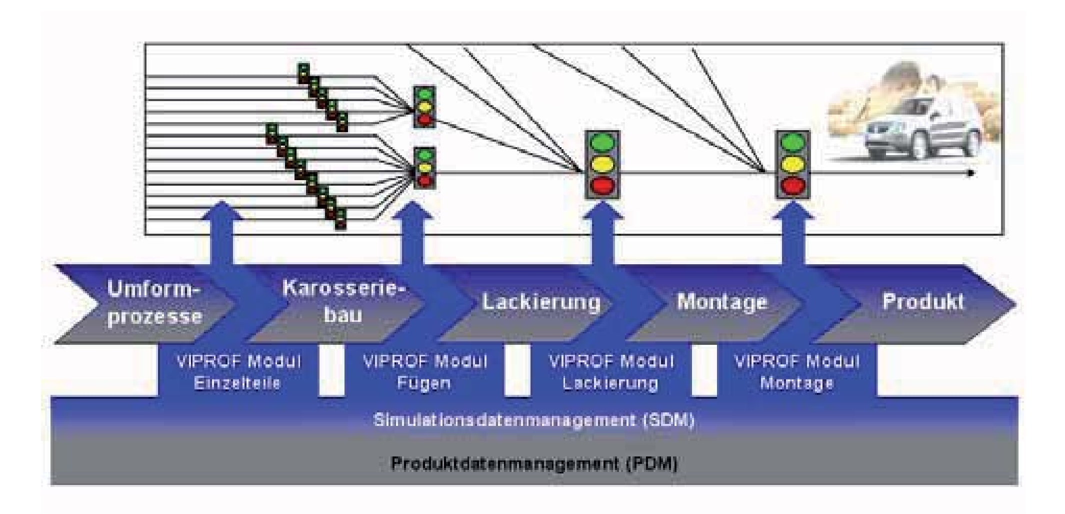


Abbildung 2: Virtuelle Verbindung der Teilgewerke vom Einzelteil bis zum Produkt in einer Prozesskettensimulation.

2.2. Produktdatenmanagement - PDM-Systeme

In einem Produktentwicklungsprozess fallen eine Vielzahl unterschiedlicher Daten an, die durch die unterschiedlichsten Systeme, zum Beispiel CAD-Systeme, Simulationsprogramme etc., erzeugt werden. Ziel ist die Integration aller dieser Daten in einem einheitlichen System. Dafür bietet sich der Einsatz eines Produktdatenmanagement-Systems (PDM-System) an. Es handelt sich dabei um technische Kommunikations- und Datenbanksysteme, deren Hauptaufgabe die eindeutige/ konsistente Speicherung, Verwaltung und Bereitstellung aller im Produktlebenszyklus anfallenden Daten ist. Mittels einer in das PDM-System eingebundenen Workflow-Komponente ist es zusätzlich möglich, den Prozess der Bearbeitung und Weiterleitung der Daten zu steuern und zu kontrollieren [VDI02]. Während heute die Ablage von CAD-Daten in PDM-Systemen gängige Praxis ist, fehlt eine Einbindung von Simulationsdaten fast völlig. Erste Ansätze dazu wurden im Rahmen einer Prostep-Arbeitsgruppe für die Mehrkörpersimulation (MKS) entwickelt [PRO08]. Im Zusammenhang mit FEM-Simulationen werden momentan die Daten häufig noch in Dateisystemen, also unabhängig von PDM-Systemen, abgelegt.
Ziel ist daher die Speicherung und Verwaltung aller anfallenden Simulationsdaten in einem PDM-System und die Realisierung des Datenaustausches zu den eingebundenen Simulationsprogrammen. Das PDM-System fungiert somit als ein Bindeglied zu den einzelnen Simulationssoftwaresystemen (Abbildung 3).

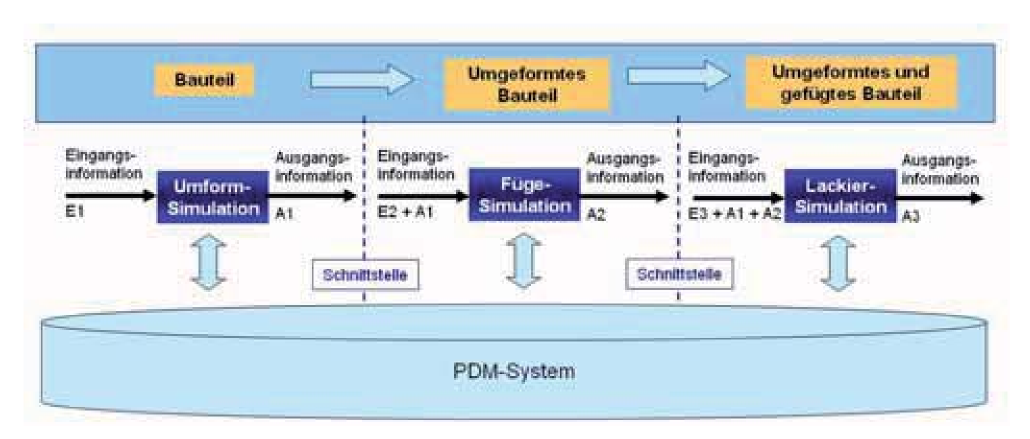


Abbildung 3: Verknüpfung von Simulationsprogrammen über ein PDM-System.

Die Aufbereitung der Daten in entsprechende Datenformate der einzelnen Simulationsprogramme und der Datenaustausch zwischen den Simulationsstufen erfolgt unter Nutzung des im PDM-System integrierten Workflow-Systems. Es steuert die Datenaufbereitung und den Datenaustausch über die geplanten Schnittstellen. Dafür müssen im Vorfeld entsprechende Referenzprozesse erfasst und anschließend automatisiert werden.

Durch die PDM-Ankopplung können folgende Vorteile erreicht werden:

– Zentrale Speicherung aller Daten über den gesamten Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsprozess
– Automatische Steuerung der Umwandlung von Simulationsdaten in verschiedene Datenformate
– Steuerung der Datenübertragungen für die einzelnen Simulationsprogramme
– Berücksichtigung der Materialhistorie in den einzelnen Prozessschritten.

2.3. Schnittstellen für Simulationsprogramme

Grundlage für die Konfiguration der Prozesskettensimulation (PKS) ist ein Werkzeug, das gleichzeitig der Prozessplanung als auch dem zur Integration der Informationen notwendigen Datenmanagement dient. Die in der Produktentwicklung entstehenden Daten und Dokumente müssen in einem System zur Datenhaltung hinterlegt werden. Insgesamt sind dabei die vorhandenen Softwareapplikationen zum PDM bzw. Product-Lifecycle Management (PLM) möglichst umfangreich mit einzubeziehen. Eine wichtige Rolle für die Nachhaltigkeit des Ansatzes und die Ausrollbarkeit auf andere Anwendungsbereiche spielt die Berücksichtigung von bestehenden Standards zur Beschreibung von Ablauflogik (BPMN, BPEL, WSDL, etc.), sowie Spezifikationen für Datenhaltung, -transformation und -austausch zwischen Anwendungen, z.B. mittels SQL, XML, XSLT oder SOAP. Fehlende Standards zum Datenaustausch zwischen FE-Programmen erfordern schnelle und flexible Direktschnittstellen zu allen Simulationen, die an der Fertigungskette beteiligt sind. Die Simulationsdaten lassen sich dann über Importschnittstellen einlesen und über Exportschnittstellen den anderen Prozesssimulationen zur Verfügung stellen. Da alle Simulationsprogramme unterschiedliche Koordinatensysteme benutzen bzw. viele Koordinaten lokal definieren, ist eine kompatible Lösung zu erarbeiten, z.B. durch einen Transfer in Fahrzeugkoordinaten.
Für die Prozessplanung und Datenhaltung wird ein Modell in drei Ebenen vorgeschlagen, die Datenebene mit den Simulationsdaten, die Workflow-Ebene mit den ausführenden Anwendungen und einem Webservice Layer und schließlich die Anwenderebene aus PDM Umgebung, Workflow-Editor und –Engine sowie dem Simulationsdatenmanagement, zu dem auch das Modulcockpit zählt. Abbildung 4 zeigt die entsprechende konzeptionelle Software-Architektur für das Datenmanagement der Prozesskettensimulation.

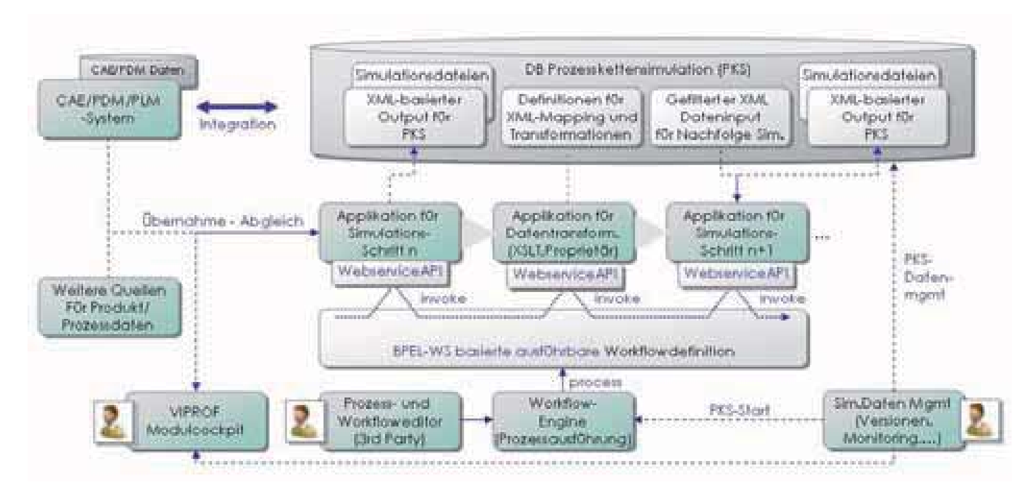


Abbildung 4: Software-Architektur zum Datenmanagement der Prozesskettensimulation („Datendrehscheibe“).

2.4. Umformsimulation mit inkrementeller FEM und OneStep-Verfahren

In den 1990er Jahren wurde die Umformsimulation noch kritisch beäugt: “Wie genau ist das berechnete Ergebnis?” war die berechtigte Frage. Nach weiteren eineinhalb Jahrzehnten Entwicklungszeit - verbunden mit viel Anwendungserfahrung und unzähligen Benchmarks - kann man heute sagen, dass die Vorhersage von Reißern, Falten und - mit gewissen Einschränkungen - Rückfederung mit einer ausreichenden Genauigkeit möglich ist.

Der Begriff Umformsimulation wird mit der inkrementellen Finite-Elemente-Methode (FEM) assoziiert. Hier wird zunächst von der Bauteilgeometrie die erste Ziehstufe abgeleitet und hieraus die Tiefziehwerkzeuge (Stempel, Niederhalter und Matrize). Mit Hilfe einer Beschnittkontur wird die Fläche einer ebenen Platine erstellt. Die erhaltenen Flächen von Werkzeugen und Platine werden vornehmlich mit Schalenelementen vernetzt. Nach der Positionierung und Definition von Werkzeugbewegung, Niederhalterkraft und den auftretenden Kontakten ist das Berechnungsmodell fertig. Der Simulationsprozess ist sehr eng am realen Prozess orientiert, da alle beteiligten Komponenten auch in der Simulation vorhanden sind und die Werkzeugbewegung in viele kleine Inkremente unterteilt wird, um mit möglichst vielen Berechnungsschritten dem realen Prozess nahe zu kommen.
Demgegenüber steht ein anderer Ansatz, bei dem vom Bauteil ausgehend - rückwärts (invers) - in einem einzigen Schritt (OneStep) die Platine berechnet wird. Dabei wird ein Iterationsprozess durchlaufen, an dessen Ende nicht nur die Platinenkontur, sondern auch die auftretenden plastischen Formänderungen ermittelt werden. Da hier keine Werkzeuge verwendet werden, können auch keine Auswirkungen spezieller Kontaktsituationen dargestellt werden. Auch die Abbildung mehrerer Ziehstufen ist bisher nur ansatzweise möglich, indem z. B. mit Hilfe einer Zwischenstufengeometrie zweistufig rückwärts gerechnet wird.
Der geringeren Genauigkeit so genannter OneStep-Solver stehen der sehr viel geringere Aufwand in der Modellerstellung (Preprocessing) und die kürzeren Rechenzeiten (Minuten anstelle von Stunden) gegenüber. Das heißt, wenn die Genauigkeit von OneStep-Solvern ausreichend ist, stellen sie eine Alternative zur inkrementellen FEM dar, insbesondere zu Beginn der Entwicklung, wenn der Reifegrad des Produktes noch gering und die Änderungsfrequenz hoch ist.
Abbildung 5 zeigt die heute bereits in einigen Firmen punktuell eingesetzte Verknüpfung zwischen Umform- und Crashsimulation. Zu Beginn der Entwicklung möchte man aus den o. g. Gründen OneStep-Solver einsetzen. Im weiteren Verlauf - wenn der Produktreifegrad und die Genauigkeitsanforderungen an den Validierungsprozess weiter gestiegen sind - ist der Einsatz inkrementeller FEM notwendig.

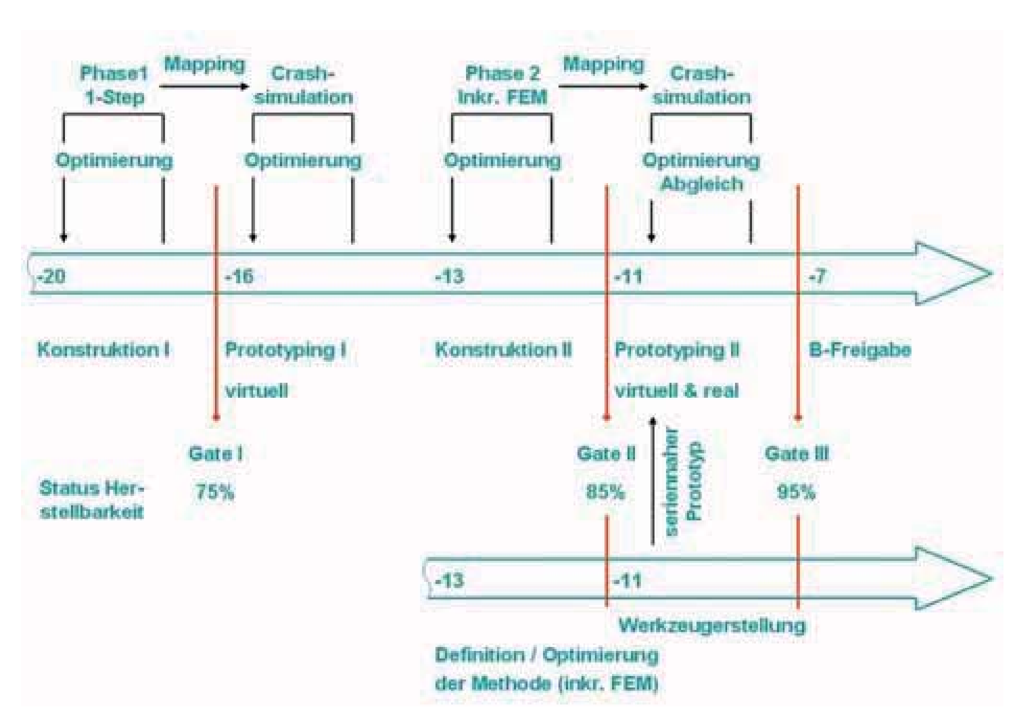


Abbildung 5: Konzept für die systematische Kopplung von Umform- und Crashsimulation in den verschiedenen Phasen der Produktentstehung.

Aus dieser Betrachtung leiten sich eine Reihe von Forschungsaufgaben für dieses Projekt ab:

– Welche Größen aus der Umformsimulation sollen auf die Füge- / Lackiersimulation übertragen (gemappt) werden?
– Wie genau soll / muss der Umformprozess abgebildet werden?
– Wo liegen die Grenzen von OneStep-Solvern?
– Wann ist der Einsatz inkrementeller FEM erforderlich?
– Wie ist jeweils das Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen bei der Verknüpfung der einzelnen Gewerke?

3. Zusammenfassung und Ausblick

Der globale Wettbewerb, die steigenden Qualitätsanforderungen an ein Automobil von heute und die immer kürzer werdenden Entwicklungszeiten erfordern sowohl die frühzeitige Absicherung des Fertigungsprozesses als auch die Produktbeeinflussung aus Fertigungssicht. Die enge Abstimmung der Schnittstelle Bauteilentwicklung und Produktionsplanung ist die Voraussetzung dafür, die fertigungsgerechte Produktgestaltung frühzeitig abzusichern und somit den kostenintensiven Änderungsaufwand nach maßgeblicher Produktgestaltung zu vermeiden. Hierfür ist ein Paradigmenwechsel von einer eher disziplinorientierten Arbeitsweise zu einer ganzheitlichen Betrachtungsweise notwendig. Durch die virtuelle Absicherung der Herstellbarkeit entlang der Produktionsprozesskette (Presswerk-Karosseriebau-Lack) mit prozessübergreifendem Ergebnistransfer soll es ermöglicht werden, fertigungstechnische Einflüsse auf die Produkteigenschaften zu erfassen und während der Produktentwicklung zu berücksichtigen.
Die Herausforderung dieses Projektes besteht in der Verknüpfung von Produktentwicklung und Fertigungstechnik zu einer durchgängigen, digitalisierten und kooperativen Entwicklungs- und Produktionsplanung. Lösungsansätze sind die Integration aller, durch CAD-Systeme, Simulationsprogramme etc., erzeugten Daten in einem einheitlichen Produktdatenmanagement-System zur konsistenten Speicherung, Verwaltung und Bereitstellung der im Produktlebenszyklus anfallenden Daten, sowie die Entwicklung schneller und flexibler Direktschnittstellen zu allen an der Fertigungskette beteiligten Simulationen.
Der begrenzten Verfügbarkeit von Daten für die Simulation in der frühen Entwicklungsphase, soll durch den Einsatz von OneStep-Solvern entgegengewirkt werden. Mit diesen Solvern ist es möglich, ohne Kenntnis der Werkzeuggeometrie, die Blechdicken- und Spannungsverteilung im Bauteil nach dem Umformen zu berechnen und diese Ergebnisse den nachgelagerten Simulationen, z.B. Füge- oder Lacksimulation, zur Verfügung zu stellen.
Der Stand der Produktionsplanung wird über Reifegradampeln in einem Modulcockpit jederzeit abrufbar sein und maximale Transparenz für alle Beteiligten schaffen. Hierfür werden gatebasierte Referenzprozesse entwickelt.
Das dieser Veröffentlichung zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02PC1097 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

4. Literatur

[VDI02] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 2219: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen, Düsseldorf 2002.

[PRO08] Projektgruppe SimPDM im Prostep iViP Verein; Stand: August 2008, http://www.prostep.org/de/projektgruppen/simpdm.html.

5. Autoren

Prof. Dr.-Ing. Birgit Awiszus
Universitätsprofessorin für Virtuelle Fertigungstechnik

Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse
Technische Universität Chemnitz
Reichenhainer Straße 70
D-09126 Chemnitz

Telefon: 0371 531 235 00
Telefax: 0371 531 235 09
E-Mail: birgit.awiszus@mb.tu-chemnitz.de

Dipl.-Ing. Alexander Hoffmann
Geschäftsführer

ARC Solutions GmbH
Annaberger Str. 73
09111 Chemnitz

Telefon: 0371 523 19 0
Telefax: 0371 523 19 99
E-Mail: info@arcsolutions.de

Dr.-Ing. Steffen Kulp
Konzernforschung

Volkswagen AG
Brieffach 1275
38436 Wolfsburg

E-Mail: steffen.kulp@volkswagen.de

Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Pinner
Konzernproduktionsplanung
Technologie-Management

Volkswagen AG
Brieffach 1275
38436 Wolfsburg

Telefon: 05361 986 573
Telefax: 05361 957 86 573
E-Mail: sebastian.pinner@volkswagen.de

Tobias Menke

CADFEM GmbH
Geschäftsstelle Hannover
Pelikanstraße 13
30177 Hannover

Telefon: 0511 390 603 20
Telefax: 0511 390 603 25
E-Mail tmenke@cadfem.de

Dr.-Ing. Cord Steinbeck-Behrens
Head of Software Development

CADFEM GmbH
Geschäftsstelle Hannover
Pelikanstraße 13
30177 Hannover

Telefon: 0511 390 603 17
Telefax: 0511 390 603 25
E-Mail: csb@cadfem.de

Dipl.-Ing. Florian Peinemann
Projektleiter, Werkzeugbau

Volkswagen AG
Innovation & IT im Werkzeugbau Fahrzeuge
38436 Wolfsburg

Dr.-Ing. Hubert Verhoeven
Werkzeugbau

Volkswagen AG
Innovation & IT im Werkzeugbau Fahrzeuge
38436 Wolfsburg

Prof. Dr.-Ing. Martin Rambke

Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel
Fachbereich Maschinenbau
Institut für Produktionstechnik
Salzdahlumer Straße 46/48
38302 Wolfenbüttel

Telefon: 05331 939 2315
Telefax: 05331 939 2302
E-Mail: m.rambke@fh-wolfenbuettel.de

Stefan Rudolph

Engineering System International GmbH
Mergenthalerallee 15-21
65760 Eschborn

Telefon: 06196 9583 0
Telefax: 06196 9583 111

Jochen Steinbeck

Engineering System International GmbH
Mergenthalerallee 15-21
65760 Eschborn

Telefon: 06196 9583 0
Telefax: 06196 9583 111

Dr.-Ing. Christoph Runde
Techn. Geschäftsführer

Virtual Dimension Center
Kompetenzzentrum für virtuelle Realität und Kooperatives Engineering w.V.
Auberlenstraße 13
70736 Fellbach

Telefon: 0711 58 53 09 11
E-Mail: christoph.runde@vdc-fellbach.de

Dipl.-Ing. Robert Struck
Projektleiter

Volkswagen AG
Forschung Werkstoffe und Fertigungsverfahren
38436 Wolfsburg

Dr.-Ing. Matthias Trier

Technische Universität Berlin
Systemanalyse und EDV
Franklinstraße 28/29
10587 Berlin

E-Mail: trier@sysedv.cs.tu-berlin.de



Digitale Produktentwicklung

KeMotion als Virtual-Engineering-Tool für Roboter

Dipl.-Ing. Christoph Mittermayer
Dr. Michael Garstenauer

Lebenslauf



Dipl.-Ing. Christoph Mittermayer

Entwicklung Motion Control

KEBA AB
Gewerbepark Urfahr
A-4041 Linz

Telefon: +43 732 7090 23332
E-Mail: mit@keba.com

22.8.1964	Geboren in Innsbruck
1983-1990	Studium der Elektrotechnik und Informatik an der TU-Wien.
1990-1994	Vertragsassistent an der TU-Wien. Projekte im Bereich der Sensorintegration für Robotersteuerungen
1994-1998	Universitätsassistent am Institut für elektrische Messtechnik an der TU-Wien.
1998-2000	Projektmitarbeiter am Institut für elektrische Messtechnik für Robotersteuerungsentwicklung bei KEBA. Entwicklung einer neuen Roboterbahnplanung
2000-2009	Freier Mitarbeiter in der Motion Entwicklung bei KEBA

KeMotion als Virtual-Engineering-Tool für Roboter

Dipl.-Ing. Christoph Mittermayer, Dr. Michael Garstenauer

1. Einleitung

Mehr denn je zuvor spielen Effizienz und Optimalität bei der Auslegung und beim Betrieb von Robotersystemen eine Schlüsselrolle für den Erfolg. Durch die Komplexität der Aufgabe können diese Optimierungen meist nur mehr durch iterative Entwicklungsprozesse oder mit Hilfe der Simulation durchgeführt werden.

Im Automationsumfeld spielen aber auch die Zeit- und Kostenaufwände für die Entwicklung eine entscheidende Rolle. Hilfsmittel wie ein Simulationssystem werden nur dann genutzt, wenn der Einsatz ohne hohe zusätzliche Kosten und Aufwände möglich ist. Wenn die Simulation mit der Anschaffung von Software-Tools oder der händischen Erstellung von Simulationsmodellen oder Simulationsanbindungen verbunden ist, wird sie in vielen Fällen nicht genutzt.

Für eine stärkere Verbreitung von Simulationswerkzeugen ist es daher sehr wichtig, diese möglichst nahtlos in die normale Arbeitsumgebung für die Entwicklung und den Betrieb des Roboters einzufügen. Es sollten im Idealfall keine zusätzlichen Kosten oder Aufwände für eine Simulation anfallen, damit die Ersparnisse, die mit virtuellem Engineering möglich sind, auch tatsächlich zum Tragen kommen.

Der folgende Beitrag stellt den Zugang zur integrierten Simulation im KeMotion-Steuerungssystem der Firma KEBA vor.

2. Das Robotersteuerungssystem KeMotion

Das KeMotion-System bietet eine umfassende Steuerungslösung für Roboter. Es bietet Komponenten für Steuerung, Bedienung, Antriebe und Sicherheitstechnik. Das KeMotion-System wurde als eine offene Robotersteuerung konzipiert und kann für die verschiedensten Anwendungen optimal angepasst werden. Das Anwendungsspektrum reicht von einfachen Pick&Place-Aufgaben, über Handling am Förderband und Kooperation mit Maschinen bis zu Bearbeitungsprozessen wie Lackieren und Kleberauftrag am Förderband. Dabei kommen Linearroboter, Scara-Roboter, verschiedene Knickarmroboter und Parallelroboter zum Einsatz.



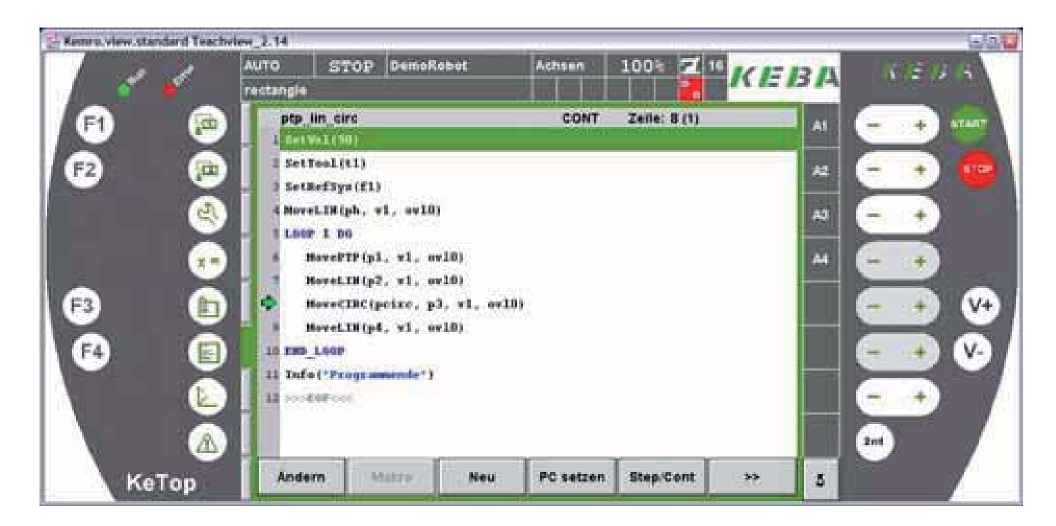
Abbildung 1: Anwendungsbeispiele mit KeMotion:
Lackierroboter, Bedienung Abkantpresse, Pick&Place Parallelroboter

3. Virtuelle Robotersteuerung

Im KeMotion-System ist auch eine virtuelle Version der Steuerung verfügbar. Die virtuelle Steuerung ist eine vollständige Simulation der Steuerung, jedoch nicht in Form einer Nachbildung, sondern es wird die originale Steuerungssoftware verwendet. Dadurch liefert die virtuelle Steuerung die genauest mögliche Simulation des realen Verhaltens der Steuerung. Für die Simulation einer Anwendung in der virtuellen Steuerung können direkt die Konfigurationsdateien und Programme der realen Steuerung verwendet werden.

Zur Bedienung der virtuellen Steuerung steht ein simuliertes Handbediengerät zur Verfügung. Ebenso wie bei der Steuerung handelt es sich hierbei um die Original-software des Steuerungssystems. Alle Bedienfunktionen der Steuerung stehen damit in der Simulation in der gleichen Weise zur Verfügung.

Zur Visualisierung des Steuerungsverhaltens dient ein Software-Oszilloskop. Neben der Darstellung von Signalen in Form von Yt- und XY-Diagrammen und der textuellen Anzeige ist hier auch eine 3D-Ansicht integriert. Die 3D-Visualisierung ist durch die Verwendung des Standards VRML sehr offen und einfach erweiterbar. VRML-Dateien sind aus den meisten gängigen CAD-Programmen exportierbar. Alle vom Oszilloskop aufgezeichneten Signale können dazu verwendet werden, Eigenschaften der 3D-Darstellung zu beeinflussen. So können neben einer Verschiebung und Drehung von Maschinenteilen auch Eigenschaften wie Sichtbarkeit oder Farben und ähnliches beeinflusst werden.



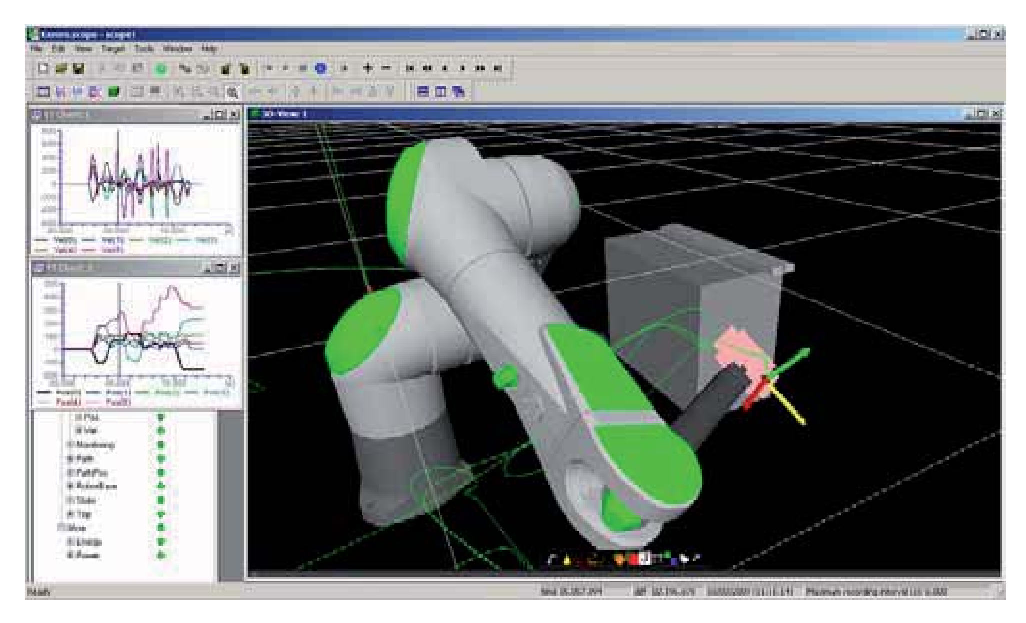


Abbildung 2: Virtuelles Handbediengerät und 3D-Visualisierung.

Die virtuelle Steuerung kann auf jedem Arbeitsplatzrechner oder Laptop ohne spezielle Software oder Hardwareanforderungen installiert werden. Neben diesem Vorteil bietet die virtuelle Steuerung zusätzlich noch die Möglichkeit einer beschleunigten Ausführung. Die virtuelle Steuerung kann den Prozessor zu 100% auslasten, um so eine wesentlich schnellere Simulation der Steuerungsfunktion als in Echtzeit zu erhalten. Es ist jedoch auch ein Betrieb in Soft-Realtime möglich.

Die Steuerung besitzt ein Remote-Interface entsprechend RRS II, damit kann die Steuerung auch von Offline-Programmiersystemen bedient werden. Als Beispiel soll hier die automatisierte Bedienung einer Abkantpresse mit einem Roboter angeführt werden: Im Programmiersystem für die Presse wird das Blechteil mit den auszuführenden Biegungen programmiert. Das Programmiersystem erzeugt automatisch die zugehörigen Roboterbewegungen und benutzt die virtuelle Steuerung, um die Bewegungen zusammen mit der Maschine zu überprüfen und zu visualisieren.

4. Simulationsbeispiele

Mit Hilfe der virtuellen Steuerung können Roboteranwendungen zu einem großen Teil in der Simulation entwickelt werden. Häufig zu klärende grundsätzliche Fragen bei einem Robotereinsatz sind hier:

- Arbeitsraum, Erreichbarkeit, Kollisionen
- Singularitäten, Bearbeitungsgeschwindigkeit
- Taktzeiten

Bezüglich Arbeitsraum, Erreichbarkeit und Kollisionen spielt die Auswahl des Roboters bzw. die Größenauslegung eine wesentliche Rolle. Zusätzlich sind auch noch Aufstellort des Roboters, die Positionierung der Werkstücke und die Gestaltung des Werkzeugs oder Greifers wichtige Variationsparameter.

Das Auftreten von Singularitäten - für eine Bewegung ungeeignete Stellungen des Roboters - kann erst zusammen mit Roboter, Werkzeug und Arbeitsbahn beurteilt und gegebenenfalls entsprechend vermieden werden. Bei Bahnbearbeitungs-aufgaben ist es auch erforderlich zu prüfen, ob die erforderlichen Bahngeschwindigkeiten mit dem Roboter überhaupt erzielbar sind. In beiden

Fällen ist eine Änderung des Aufstellortes des Roboters oder der Platzierung des Werkstücks, eventuell auch eine Änderung des Werkzeuges notwendig, um die Aufgabe für den Roboter ausführbar zu machen.

Die Ausführungszeit ist meist eine wichtige Größe für die Rentabilität einer Roboterlösung. Realistische Ergebnisse werden hier nur erzielt, wenn die Bahnplanung der vorgesehenen Steuerung verwendet wird.

Bei der mechanischen Auslegung eines Roboters sind neben der Geometrie und Geschwindigkeit auch die auftretenden Kräfte und Momente von Bedeutung. Grundlegend bei der Antriebsauslegung sind beispielsweise die von den Antrieben aufzubringenden Momente. In KeMotion können die Antriebsmomente mit Hilfe des integrierten dynamischen Robotermodells berechnet werden.

Oft gehen die Fragestellungen jedoch über diese Größen hinaus. Beispiele dafür sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Sie stammen aus der Voranalyse aus einem Roboterprojekt. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für die Kräfte, die für einen Greifer bei der Manipulation eines Teils auftreten. Abbildung 4 zeigt die Momente, die der Antrieb einer optionalen linearen Zusatzachse bei der gleichen Bewegung aufbringen muss. In Abbildung 5 sind die Leistungsflüsse, die im Spannungszwischenkreis der Antriebe auftreten und zur Dimensionierung von Zwischenkreis und zur Beurteilung der möglichen Rückspeiseleistung aus den Antrieben dienen können.

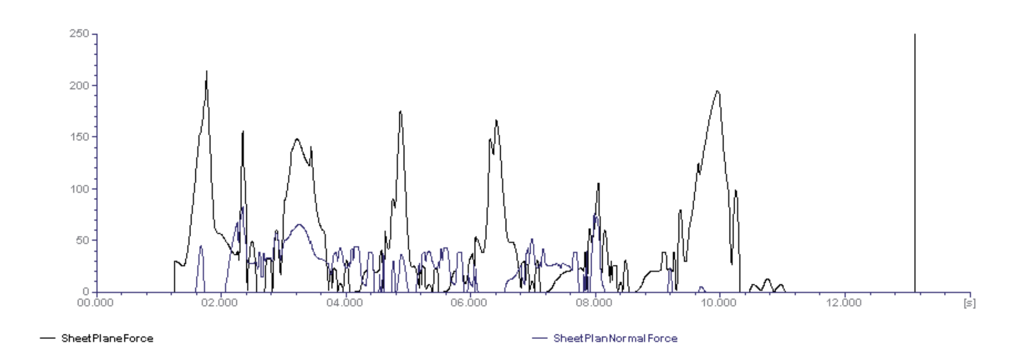


Abbildung 3: Greiferkräfte beim Einlegen eines Teils in eine Maschine (Normalkraft (schwarz) und Transversalkraft (blau) im Greifer)

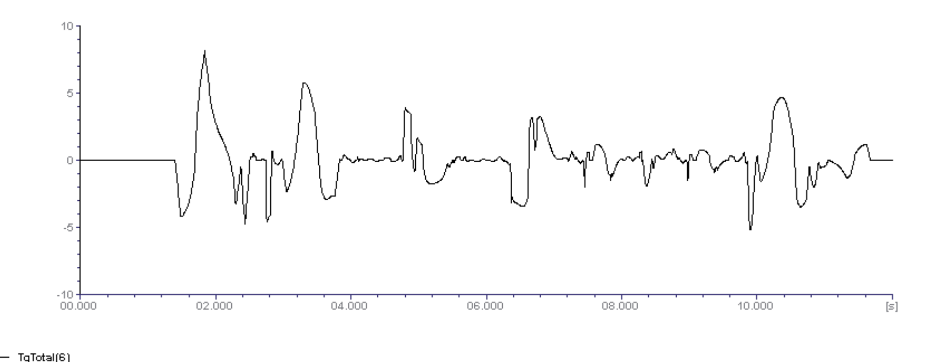


Abbildung 4: Antriebsmoment einer Zusatzachse

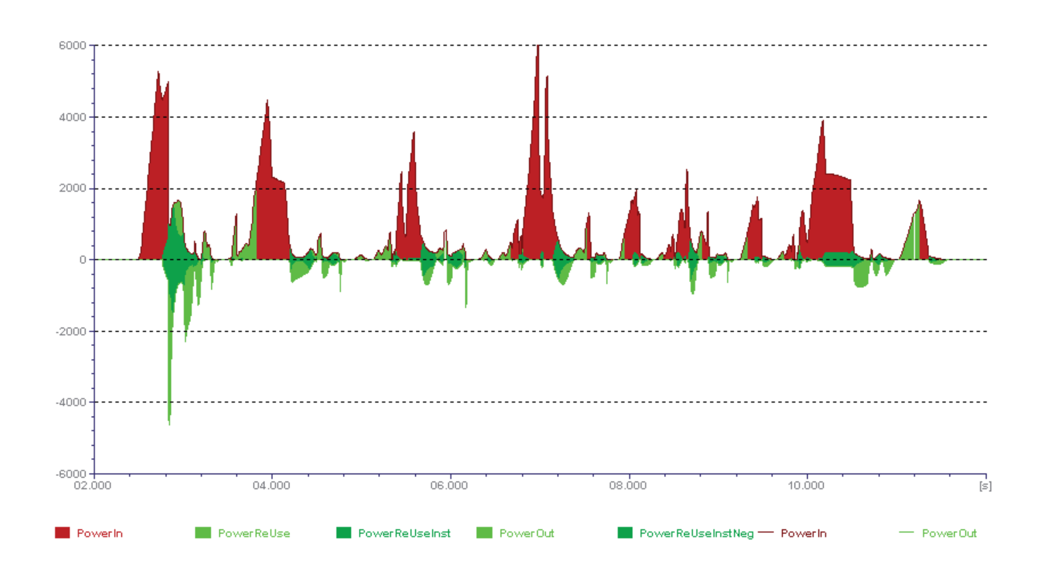


Abbildung 5: Leistungsaufnahme (rot) bzw. -abgabe (grün) der Antriebe auf einer Roboterbahn

5. Erweiterte Simulation mit KeMotion

Mit der virtuellen Steuerung können viele Fragen eines Robotereinsatzes bereits geklärt werden. Die Simulation ist jedoch auf die Modellierung eines steifen Roboters und idealer Antriebsregler beschränkt. Bei Hochgeschwindigkeitsanwendungen haben allerdings auch dynamische Effekte in den Antriebsreglern und in der Robotermechanik eine Bedeutung.

Schleppfehler und elastische Verformungen des Roboters führen zu Bahnabweichungen, die umso größer werden, je schneller der Roboter fährt. Weiters können bei schnellen Bewegungen Vibrationen angeregt werden, die die Mechanik belasten, aber auch zu unerwünschten Prozessergebnissen führen können, insbes. beim Materialauftrag oder -abtrag.

Bei den steigenden Ansprüchen an die Geschwindigkeit und die Genauigkeit der Roboteranwendungen spielen die dynamischen Effekte eine zunehmend wichtige Rolle. Im speziellen, wenn versucht wird, Anwendungen mit Robotern zu realisieren, die bisher CNC-Maschinen vorbehalten waren. Die Beurteilung der Genauigkeit bzw. Systemoptimierung zur Beherrschung der dynamischen Effekte in der Simulation hilft hier grundlegende Entwurfsentscheidungen zu treffen.

Für die Simulation dieser dynamischen Effekte bietet die KeMotion-Steuerung eine Kopplung an verschiedene Simulationswerkzeuge. So stehen Anbindungen an die verbreiteten Simulationstools MATLAB/Simulink und Dymola zur Verfügung. In diesen Simulationswerkzeugen kann die volle Breite der Bibliotheken für die Simulation von Reglern und Mechanik genutzt werden. Zudem steht eine Kopplung mit dem Mehrkörpersimulationssystem HOTINT zur Verfügung. Der Austausch der Daten der Steuerung mit der Simulation erfolgt synchronisiert im Interpolationstakt der Steuerung, damit auch dynamische Vorgänge in den Antriebsreglern und in der Mechanik präzise simuliert werden können.

HOTINT ist eine Forschungs-Software zur Simulation flexibler Mehrkörpersysteme. Es bietet Möglichkeiten zur Simulation auch hochkomplexer Probleme wie hochelastischer Körper, Kontaktprobleme oder Massenströme. Für die Integration mit KeMotion wurde HOTINT um Funktionen erweitert, die es gestatten, für serielle Kinematiken aus den Konfigurationsdaten der Steuerung ein Modell des Roboters

einschließlich der Antriebsregler zu erzeugen. Auf diese Art ist es ohne Aufwand möglich, die Mechanik des Roboters einschließlich Elastizitäten im Antriebsstrang und dem dynamischen Verhalten der Antriebsregler zu simulieren.

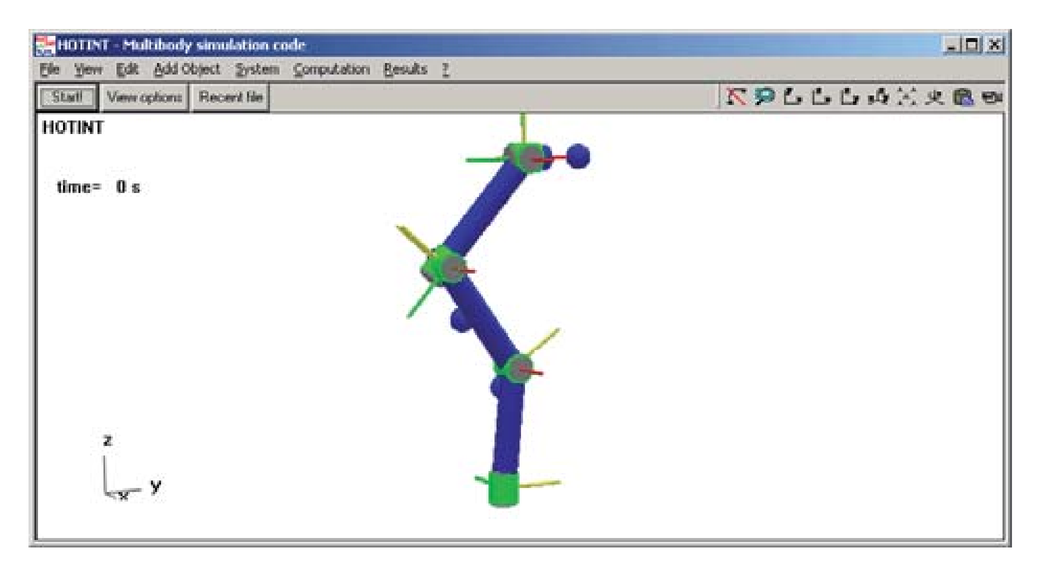


Abbildung 6: HOTINT zur Simulation flexibler Mehrkörpersysteme

6. Zusammenfassung

Mit der virtuellen KeMotion-Steuerung steht ein Werkzeug zur Verfügung, das für eine Vielzahl von Aufgaben in der Planung, im Entwurf und im Betrieb von Robotern Simulationsmöglichkeiten bietet. Anwendungen, die mit dem System in der Simulation erstellt werden, können direkt auf der Steuerung mit einem realen Roboter ausgeführt werden. Damit ist ein nahtloser Übergang vom virtuellen Engineering zur Inbetriebnahme des Roboters gewährleistet. Ebenso können reale Anwendungen dazu verwendet werden, in der Simulation Varianten oder Optimierungen zu testen. Damit ist eine effektive Möglichkeit gegeben, die Simulation in den normalen Arbeitsablauf ohne zusätzliche Aufwände zu integrieren.

7. Literatur

Ludwig Rafael, Gerstmayr Johannes, Augdopler Christian, Mittermayer Christoph, 2008, "Realistic Robot Simulation with Flexible Components" , Proceedings of the Ciras 2008, Fifth International Conference on Computational Intelligence, Robotics and Autonomous Systems, 6-2008

Ludwig Rafael, Gerstmayr Johannes, Augdopler Christian, Mittermayer Christoph, 2008, "Flexible Robot with Clearance" , Proc. European Conference on Structural Control (4ECSC), 9-2008, ISBN: 978-5-904045-10-4

8. Autoren

Dipl.-Ing. Christoph Mittermayer
Senior Development Engineer

KEBA AG
Gewerbepark Urfahr
A-4041 Linz

Telefon: +43 732 7090 23332
Telefax: +43 732 7090 66630
E-Mail: mit@keba.com

Dr. Michael Garstenauer
Product Manager KeMotion

KEBA AG
Gewerbepark Urfahr
A-4041 Linz

Telefon: +43 732 7090 23178
Telefax: +43 732 7090 66630
E-Mail: gar@keba.com

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Digitale Produktentwicklung

Digitales Engineering – ein wesentlicher Beitrag zur Standortsicherung

Dipl.-BW (BA) Herbert Schönle

Lebenslauf



Dipl.-BW (BA) Herbert Schönle

Vice President Sales

PTC Parametric Technology GmbH
Posener Straße 1
71065 Sindelfingen

Telefon: 07031 951 2704
E-Mail: hschoenle@ptc.com

1995-heute	PTC Parametric Technology GmbH Vice President Sales
1991-1995	IBM Mittelstandspartner/Systemhaus Key Account Manager, Vertriebsleiter
1988-1991	Zollern GmbH & Co.KG Assistent Vertriebsdirektion
1988-1991	Berufsakademie RV BWL, Diplom Betriebswirt (BA) Industrie, Marketing, Controlling, IT

Digitales Engineering - ein wesentlicher Beitrag zur Standortsicherung

Dipl.-BW (BA) Herbert Schönle

1. Einführung

Standortsicherung bedeutet den Erhalt und die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und Arbeitsplätzen in Deutschland. Dies betrifft neben den Großunternehmen vor allem auch kleine und mittlere Unternehmen (KMUs). Diese sind in Deutschland in Summe die wichtigsten Arbeitgeber und Wachstumsfaktoren. Wesentliche unternehmerische Ziele und Entscheidungen dabei beziehen sich auf das Technologie- und Produktportfolio („was entwickeln?"), aber mindestens genauso auf die Effizienz der Innovation („wie entwickeln?"). Zahlreiche Untersuchungen haben ergeben, dass die Fähigkeiten zur Ausübung der Innovationsprozesse erfolgs- und damit wettbewerbskritisch sind (vgl. Deger, R.; Nonn, C.; Schuh, G.: Das sind die Kernfähigkeiten der Erfolgreichen. In: io new management, 12/ 2004, S. 40ff.). Dies stellt steigende Anforderungen an Aufbau- und Ablauforganisation sowie an das konkrete Zusammenspiel der Mitarbeiter intern und mit Geschäftspartnern.

Ein innovativer Lösungsansatz wird exemplarisch an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Fertigung dargestellt, anhand des Managements der digitalen Produktion.

2. Herausforderungen antizipieren

In der betrieblichen Praxis zeigen sich eine Reihe von Herausforderungen im Zusammenspiel zwischen Entwicklung und Produktion. Beispiele sind:

- Mangelnde Visibilität von Fertigungsanforderungen für die Entwicklungsteams: Häufig werden die Anforderungen an eine kosten- und qualitätsoptimale Fertigung bzw. erfolgreiche Fertigungsanläufe für neue Produkte erst spät berücksichtigt, weil sequentiell und nicht überlappend und rückbezüglich gearbeitet wird. Damit fehlt der frühzeitige Austausch aussagekräftiger Entwicklungsdaten für die Fertigungsplanung bzw. von Fertigungsrand-bedingungen und -zielsetzungen für die Entwicklung.
- Hoher Aufwand bis zum Erreichen der Kammlinie für die Fertigungsausbringung durch stark manuell geprägten, prozessunsicheren Informationsaustausch und Vernachlässigung von Wiederverwendungschancen.
- Mangelnde Steuerbarkeit, Durchgängigkeit und Prozesssicherheit von Produkt- und Prozessdaten, zusätzlich erschwert bei Zusammenarbeit mit externen Partnern, z.B. Lohnfertigern, oder internationalen Standorten.
- Entkoppelte Änderungsprozesse: Produktänderungen werden nicht durchgängig mit der Fertigung abgestimmt. Fertigungsgetriebene Änderungen werden nicht klar in den Produktdaten nachgehalten bzw. in die Entwicklung rückgekoppelt.

KMUs schaffen es besser als Großorganisationen, durch enge persönliche Vernetzung das kollektive Know-how zur Überbrückung derartiger Schwachstellen zu nutzen, und so hohe Flexibilität an den Tag zu legen. Aber wie verhält es sich über eine wachsende Anzahl von Mitarbeitern, Standorten und externen Beziehungen hinweg? Im internationalen Maßstab? Wenn Erfahrungsträger in Rente gehen?

3. Prozess klären

Prozess ist hier definiert als Aufgabengliederung für die Ablauforganisation, innerhalb derer je Arbeitsschritt in verschieden feiner Auflösung Eingangsgrößen, Operationen und Ausgangsgrößen dargestellt werden.
Unter dem Stichwort Management der digitalen Produktion („Manufacturing Process Management“, vgl. Abb. 1) wird hier auf folgende Schrittfolge eingegangen:

- Eingangsgröße: Detailliertes Design aus der Entwicklung
- Schritt 1: Randbedingungen kollaborativ setzen
    - Design für die Fertigungsplanung freigeben
    - Standort bzw. Auftragsfertiger auswählen
    - Anforderungen aus der Fertigung aufnehmen (z.B. Toleranzen)
    - Beurteilung der Fertigbarkeit
    - Änderungswünsche aufnehmen und beurteilen, freigeben
    - Prototypische Validierung
- Schritt 2: Ablaufplan aufstellen
    - eBOM (Produktstruktur aus der Entwicklung) in mBOM (fertigbare Produktstruktur) überführen
    - Abläufe planen, Alternativen bewerten
    - Betriebsmittel planen
    - Ablauf bewerten (Zeiten, Kosten, Material)
- Schritt 3: Ablaufplan optimieren
    - Line balancing / work cells optimieren
    - Simulationen, Ergonomiestudien durchführen
- Schritt 4: Ablaufplan dokumentieren
    - Grafische Arbeitsanweisungen erstellen
    - NC und CMM Programmierung abschließen
- Ausgangsgröße: Freigabe von Teilen, mBOMs, Routings ins ERP bzw. MES
- Nachfolgend/iterativ bzw. kontinuierlich: Vorserie und Serienfertigung
    - Arbeitsanweisungen verteilen
    - Feedback der Fertigungsmitarbeiter sammeln und einarbeiten
    - Änderungsmanagement
    - Qualitätsmanagement

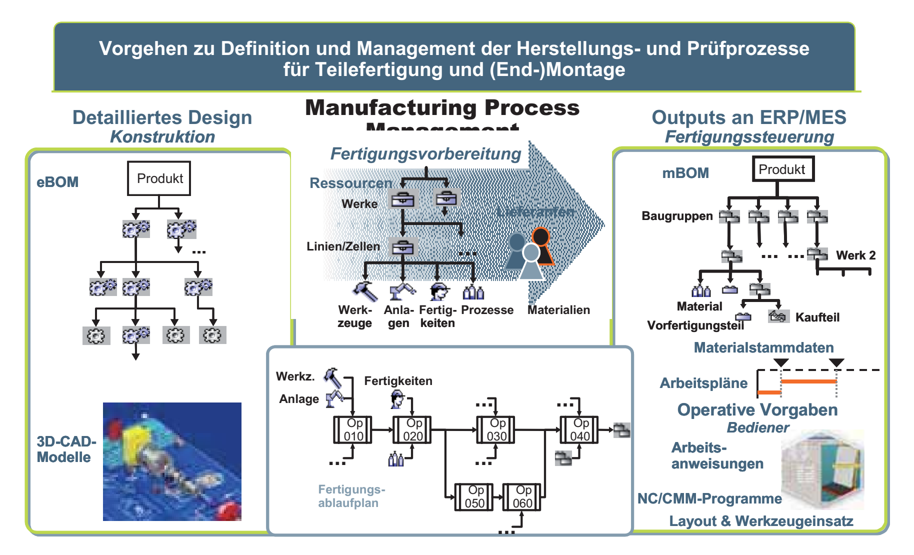


Bild 1: Management der digitalen Produktion

Diesen Aufgaben sind im Detail die Mitwirkenden aus den verschiedenen Abteilungen durchaus vielschichtig zuzuordnen, um die reale Zusammenarbeit

korrekt zu erfassen. Diese Zuordnung erfolgt in den drei unabhängigen Dimensionen Rolle, Aufgabe und Person, d.h. welche Rolle nimmt an welcher Stelle im Ablauf welche Aufgabe wahr, und wer nimmt diese Rolle konkret ein.

4. Bestehende Fähigkeiten bewerten und Verbesserungsziele in Schritten festlegen

Um brauchbare Ansatzpunkte für die Umsetzung von Verbesserungen im Manufacturing Process Management zu ermitteln, hat es sich als hilfreich erwiesen, das bestehende Fähigkeitenniveau festzustellen und die machbaren nächsten Schritte daraus abzuleiten. Eine grobe Kategorisierung umfasst vier Fähigkeitenniveaus (vgl. Abb. 2):

- Level 1: Fragmentiert
- Level 2: Strukturiert
- Level 3: Unternehmensweit integriert
- Level 4: Unternehmensübergreifend optimiert

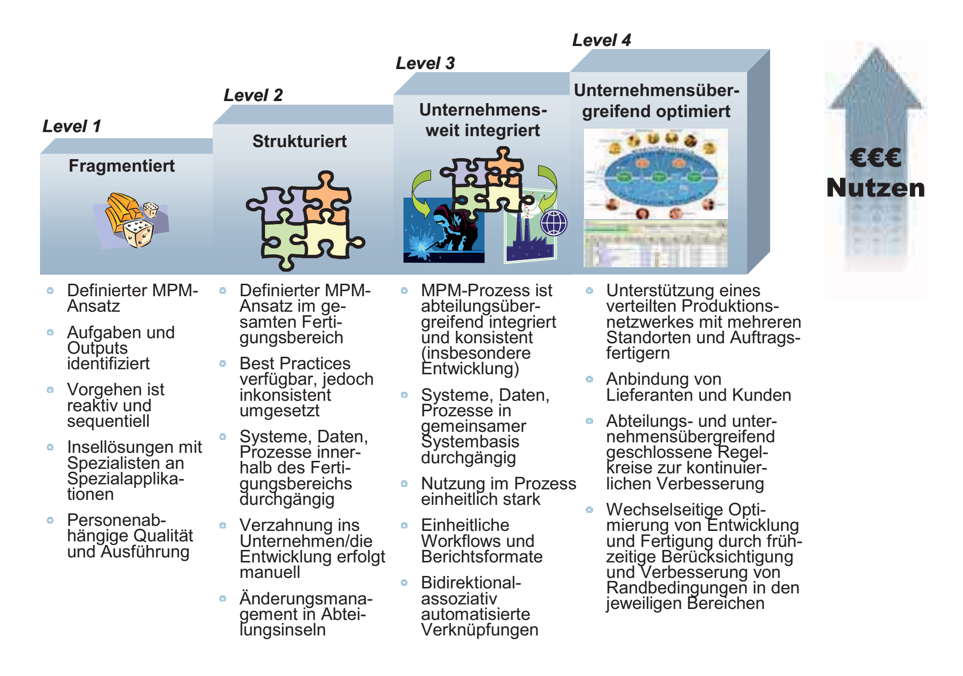


Bild 2: Fähigkeiten für Manufacturing Process Management

Konkrete Beispiele für die Fortentwicklung des jeweiligen Fähigkeitenniveaus sind:

– Verbesserungen für die Fertigungsvorbereitung:
  - Vermeidung mehrmaliger, redundanter Dateineingaben in verschiedene Systeminseln
  - Änderungsfreundliche Datenbasis mit automatisierter Propagation von Änderungswünschen, -entscheidungen und -ständen
  - Assoziative Transformation zwischen eBOM und mBOM in beide Richtungen
  - Unterstützung durch akkurate Visualisierungen in 3D, die aus gemeinsamer Systembasis angeboten und stimmig gehalten werden für Planung und Bereitstellung der Arbeitsanweisungen

    - Wiederverwendung von Best Practice-Auslegungen
    - Assoziative Änderungsmöglichkeiten zwischen 3D und NC-Programmen
    - Proaktive Einbeziehung von Praxis-Feedback aus der Fertigung
    - Projektbasierte Kollaboration mit verteilten Standorten und Zulieferern
- Verbesserungen für den gesamten Innovations- und Markteinführungsprozess:
    - Präsentation von Fertigungsanforderungen in Konzeptphase und Detailentwicklung
    - Stimmige und rechtzeitige Dokumentation von Produkten und Prozessen
    - Zuverlässigere Anläufe mit höherer Ausgangsqualität
    - Frühzeitige Herstellungskostenoptimierung
    - Verkürzung der Time-to-Market.

5. Systemunterstützung für den Prozess und die zu erzielenden Fähigkeitsstufen definieren

Bestehende Systemlandschaften in KMUs beinhalten zumeist:

- Entwicklungsarbeitsplätze für Mechanik (2D-, 3D-CAD), für Elektronik-Hardware (ECAD) und für Softwareentwicklung, falls mehrere Disziplinen erforderlich sind
- Kaum bzw. teilweise vorhandene Entwicklungsdatenverwaltung über einzelne Arbeitsplätze hinweg („Team Data Management“)
- Arbeitsplätze für die Fertigungsplanung
- Enterprise Resource Planning (ERP) bzw. Manufacturing Execution Systems (MES)

Eine derartige Ausgangslage zwingt zu zahlreichen manuellen Arbeitsgängen, um die erforderlichen Informationen für die einzelnen Prozesse und Abteilungen bereitzustellen.

Weitere Herausforderungen sind, ohne Anspruch auf Vollständigkeit:

- Zusammenführung aller Inhalte in strukturierter, nachvollziehbarer und visualisierbarer Form:
    - Darstellung einer gemeinsam zu pflegenden Produktstruktur während der Entwicklungsphasen.
    - Rollenspezifische Sichten
    - Management von Gültigkeiten bzw. Versionen
    - Unmittelbare Verknüpfung mit den digitalen Outputs der einzelnen Arbeitsschritte (z.B. Gesamtanforderungen, Funktionsstruktur, CA-Daten und –Modelle, CAE)
- Zusammenführung sämtlicher Prozessbeteiligter:
    - Intern, abteilungsübergreifend
    - Extern, standort- und unternehmensübergreifend
    - Rollenkonzepte für die definierten Prozesse
- Strukturierung und Nachvollziehbarkeit der Prozesse
    - Workflows in der Entwicklung
    - Simultaneous Engineering
    - Externe Kollaboration
    - Gesamtheitliches Änderungsmanagement
- Stetige daten- und prozesssichere Überführung der Produkt- und Produktionsdaten und -informationen in beide Richtungen.

Die o.g. typischen Systemlandschaften werden diesen Anforderungen nicht gerecht. Andererseits sind sowohl die Vernetzung vorhandener Systeme über eine

Vielzahl individualprogrammierter Schnittstellen oder deren Ablösung bzw. Überwölbung durch ein „Big Bang“-IT-Großprojekt für KMUs kaum darstellbar. Die Quadratur des Kreises besteht in einer Lösung, die folgenden Randbedingungen gerecht wird:

- Einheitliche Datendrehscheibe
- Offenheit für die Anbindung der gängigen, bestehenden Systeme
- Funktionale Skalierbarkeit durch umfassende Standardfunktionalität, die nicht erst aufwändig programmiert werden muss (nicht sofort benötigte Funktionalitäten bleiben zunächst außen vor und können bei Bedarf unverzüglich eingesetzt werden)
- Skalierbarkeit, d.h. Mitwachsen im internen und externen Umfeld durch web-native Plattform
- Proaktive, bidirektional-assoziative Unterstützung bereichsübergreifender Best Practices, z.B.
    - Konstruktion unter Einbeziehung von Produktionsanforderungen
    - Kopplung von Produktstrukturen bzw. Stücklisten zwischen Entwicklung (eBOM) und Fertigung (mBOM)
    - Kopplung von eBOM, mBOM und Ablaufplänen
    - Kopplung zwischen Konstruktionsmodellen und NC-Programmen
    - Kopplung dieser Elemente mit der Erstellung visuell unterstützter Arbeitsanweisungen.

Eine bewährte Möglichkeit zur Erfüllung dieser Anforderungen und zur Lösung der oben genannten Herausforderungen für KMUs bietet PTC auf Basis der web-nativen Windchill-Technologie.

6. Autor

Dipl.-BW (BA) Herbert Schönle
Vice President Sales

PTC Parametric Technology GmbH
Posener Straße 1
71065 Sindelfingen

Telefon: 07031 951 2704
E-Mail: hschoenle@ptc.com



Digitale Produktentwicklung

3-D-Rekonstruktion mit einer Tiefenkamera für industrielle Augmented-Reality-Anwendungen

Dipl.-Inform. Svenja Kahn
Dr.-Ing. Ulrich Bockholt

Lebenslauf



Dipl.-Inform. Svenja Kahn

Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Fraunhofer-Institut für Graphische
Datenverarbeitung IGD
Fraunhoferstraße 5
64283 Darmstadt

Telefon: 06151 155 280
E-Mail: svenja.kahn@igd.fraunhofer.de

2001-2004	Studium der Informatik an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
2004-2007	Studium der Informatik an der Technischen Universität Darmstadt, Abschluss: Diplom
2005-2006	Studentische Hilfskraft am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung (IGD) in Darmstadt, Abteilung für Virtuelle und Erweiterte Realität
2007-2008	Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Flugsysteme und Regelungstechnik
Seit 2008	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung (IGD) in Darmstadt, Abteilung für Virtuelle und Erweiterte Realität

3-D-Rekonstruktion mit einer Tiefenkamera für industrielle Augmented-Reality-Anwendungen

Dipl.-Inform. Svenja Kahn, Dr.-Ing. Ulrich Bockholt

1. Motivation

Time-of-Flight Kameras sind im Gegensatz zu herkömmlichen Kameras in der Lage, nicht nur Farb- oder Graustufenwerte sondern auch Tiefeninformationen der aufgezeichneten Szene zu erfassen. Sie liefern für jedes Pixel Informationen über die Entfernung des jeweiligen Pixels und erfassen somit ein 2,5D Bild. Diese Tiefeninformationen können zur Rekonstruktion eines 3-D-Modells einer Szene oder eines Objektes genutzt werden.

Markerlose Tracking-Ansätze für Augmented Reality nutzen häufig Geometrieinformationen über die zu augmentierende Szene. Bislang konnten diese Ansätze nur zum Tracken von Szenen eingesetzt werden, deren Geometrien bereits vorlagen (etwa in Form von CAD-Modellen) oder aufwendig von Hand rekonstruiert werden mussten.

Mit Hilfe von Tiefenkameras wird es möglich, eine gegebene Umgebung automatisch zu rekonstruieren. Dafür wird die Szene aus verschiedenen Richtungen mit der Tiefenkamera erfasst und die aus den einzelnen Bildern gewonnenen Tiefeninformationen werden zusammengefügt. Das so gewonnene 3-D-Modell kann bei markerlosen Augmented-Reality-Anwendungen zum Abgleich mit der jeweils aktuellen Sicht der Szene und somit zur Bestimmung der Kamerapose oder für einen Geometrieabgleich verwendet werden. Die über die getrackte Szene vorliegenden Geometrieinformationen sind dabei nicht auf den vor Beginn des Trackings erfassten Bereich beschränkt, sondern können auch während des Trackings dynamisch erweitert werden.

Daraus ergeben sich vielversprechende Perspektiven für den Einsatz von Tiefenkameras bei Augmented-Reality-Anwendungen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass derzeitige Tiefenkameras eine geringere Auflösung haben als herkömmliche Videokameras und die gemessenen Tiefendaten mit einer Ungenauigkeit behaftet sind, die je nach Szene einige Zentimeter betragen kann. Die Genauigkeit der gemessenen Daten hängt unter anderem von den Materialien der in der gefilmten Szene vorhandenen Objekte ab und ist bei matten Oberflächen in der Regel höher als bei spiegelnden Objekten wie etwa metallischen Gegenständen, welche häufig in industriellen Umgebungen vorzufinden sind.

2. SR-3000 Time of Flight Kamera

Für die Umsetzung der hier beschriebenen Ansätze wird eine SR- 3000 Time-of-Flight Kamera von Mesa Imaging eingesetzt [Oggier et al. (2005)]. Diese besitzt eine Auflösung von 176x144 Pixeln und basiert auf dem Time-of-Flight Prinzip: Eine kontinuierlich von der Kamera ausgesandte Lichtwelle wird von der Szene reflektiert und anschließend von der Kamerasensorik erfasst. Anhand der hierbei gemessenen Phasenverschiebung kann die Distanz berechnet werden. Abhängig von der gewählten Modulationsfrequenz können Distanzen bis zu 7,5 Metern gemessen werden. Die Tiefenkamera gibt neben einem 2,5D Bild (dem Tiefenbild) ein Intensitätsbild zurück, welches den an den einzelnen Pixeln gemessenen Amplitudenwerten entspricht.





Abbildung 1: Links: SwissRanger 3000. Mitte: Tiefenbild (farbkodierte Darstellung der Distanz). Rechts: Intensitätsbild.

3. Rekonstruktion von Szenen oder Features

Zur Bestimmung der Kameraposition werden 2-D-3-D Korrespondenzen zwischen 2-D-Punkten im Kamerabild und 3-D-Punkten in der Welt benötigt. Hierfür kann entweder eine 3-D-Rekonstruktion der gesamten Szene vorgenommen werden oder eine 3-D-Rekonstruktion der für das Tracking relevanten Features.

Im Gegensatz zu Stereo-Rekonstruktionsverfahren oder Structure-from-Motion Ansätzen können mit einer Tiefenkamera auch Tiefeninformationen über Bereiche der Szene gewonnen werden, an denen keine 2-D-Features gefunden werden können. Dadurch liegen Echtzeit-Distanz-Informationen über die gesamte im aktuellen Bild erfasste Umgebung vor. Mit Hilfe einer Tiefenkamera kann beispielsweise auch die Distanz zu einer einfarbigen Fläche bestimmt werden, was mit Stereo-Rekonstruktions-Ansätzen nicht möglich ist. Ein weiterer Vorteil beim Einsatz von Tiefenkameras zur 3-D-Rekonstruktion liegt darin, dass durch die 2-D-Struktur der Pixel Nachbarschaftsinformationen direkt gegeben sind, wodurch die Rekonstruktion deutlich schneller berechnet werden kann als bei einer ungeordneten 3-D-Punktwolke.

3.1. 3-D-Rekonstruktion einer Szene

Zur Rekonstruktion einer Szene wird diese aus verschiedenen Richtungen mit der Tiefenkamera erfasst und durch das Zusammenfügen der aus den einzelnen Bildern gewonnenen Tiefeninformationen automatisch rekonstruiert.
Der Iterative Closest Point Algorithmus [Rusinkiewicz, Levoy (2001)] erlaubt es, ausgehend von einer initalen Schätzung, eine genauere relative Transformation zwischen mehreren Aufnahmen zu bestimmen und dadurch eine Punktwolke zu erzeugen, die aus mehreren Tiefenbildern zusammengesetzt ist. Solch eine akkumulierte Punktwolke ist in Abbildung 2 dargestellt. Dieser Algorithmus wird unter anderem auch von [Prusak et al. (2008)] und von [May, Pervoelz, Surmann (2007)] zur Rekonstruktion von Szenen eingesetzt, die mit einer Tiefenkamera erfasst wurden.
Die Oberfläche der Punktwolke kann nach der Registrierung mittels des ICP-Algorithmus entweder direkt anhand der Nachbarschaftsinformationen einzelner Tiefenbilder oder mit Oberflächenrekonstruktionsalgorithmen (wie etwa von [Kazhdan, Bolitho, Hoppe (2006)] beschrieben) bestimmt werden. Auf diese Weise wird ein Oberflächenmodell erzeugt, auf welches Features der Szene, die durch die Kamera erfasst wurden, zur Bestimmung der 3-D-Position zurückprojeziert werden können.
Die Erfassung der kompletten 3-D-Geometrie mit dem ICP-Algorithmus und anschließender Oberflächenrekonstruktion ermöglicht es, den Schritt der Geometrierekonstruktion abzuschließen, bevor mit dem Tracking in der Szene für die Augmented-Reality-Anwendung begonnen wird. Sofern zur Laufkeit keine weitere Rekonstruktion durchgeführt werden soll, hat dies den Vorteil, dass für das Tracking in der Augmented-Reality-Anwendung eine beliebige hochauflösende

Kamera verwendet werden kann. Sollen Teile der Szene bzw. einzelne Features während des Trackings dynamisch rekonstruiert werden, wird die Tiefenkamera auch während des Trackings eingesetzt.

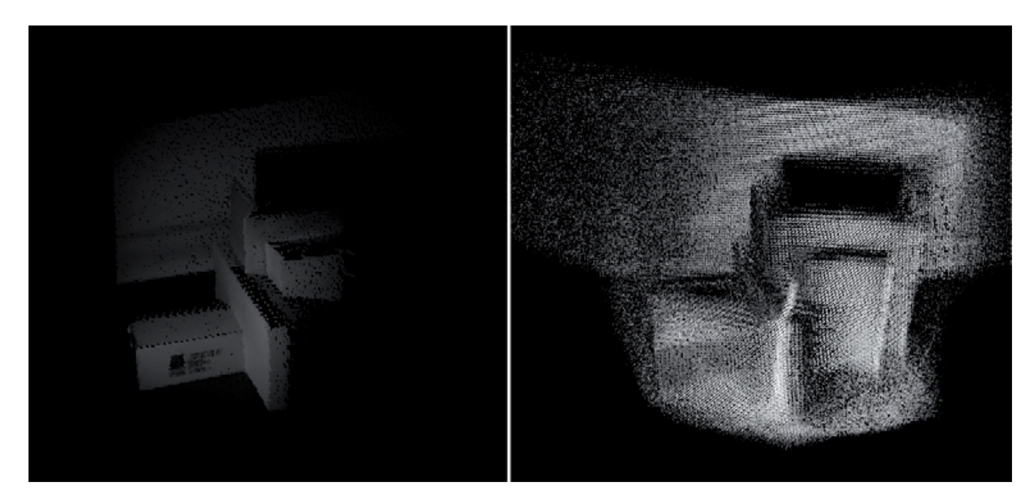


Abbildung 2: Links: Einzelnes Tiefenbild. Rechts: Aus mehreren Tiefenbildern akkumulierte Punktwolke.

3.2. 3-D-Rekonstruktion von Features

Um die Kameraposition in einer Szene tracken zu können, müssen nicht sämtliche Oberflächen der Szene rekonstruiert werden. Es genügt, die 3-D-Positionen derjenigen Features zu rekonstruieren, die für die Bestimmung der Kameraposition benötigt werden.

Bei punktbasiertem Tracking handelt es sich hierbei um die 3-D-Koordinaten einzelner Punkte (diese können direkt ausgelesen werden, sofern die Bildkoordinaten der Features im Intensitätsbild der Tiefenkamera bekannt sind). Als Basis für die Durchführung eines kantenbasierten Trackings wurde ein Ansatz entwickelt, mit dem 3-D-Kanten (insbesondere an Tiefendiskontinuitäten) aus Tiefenbildern extrahiert und in mehreren Tiefenbildern gefundene Kanten zu einem konsistenten 3-D-Kantenmodell zusammengesetzt werden. Dafür werden im graukodierten Tiefenbild (2-D-Darstellung der Distanzen) Kanten detektiert (siehe Abbildung 3), ihre Position im 3-D-Raum genauer bestimmt und anschließend mit einer kantenbasierten „Iterative Closest Point" Variante zu einem Kantenmodell kombiniert.

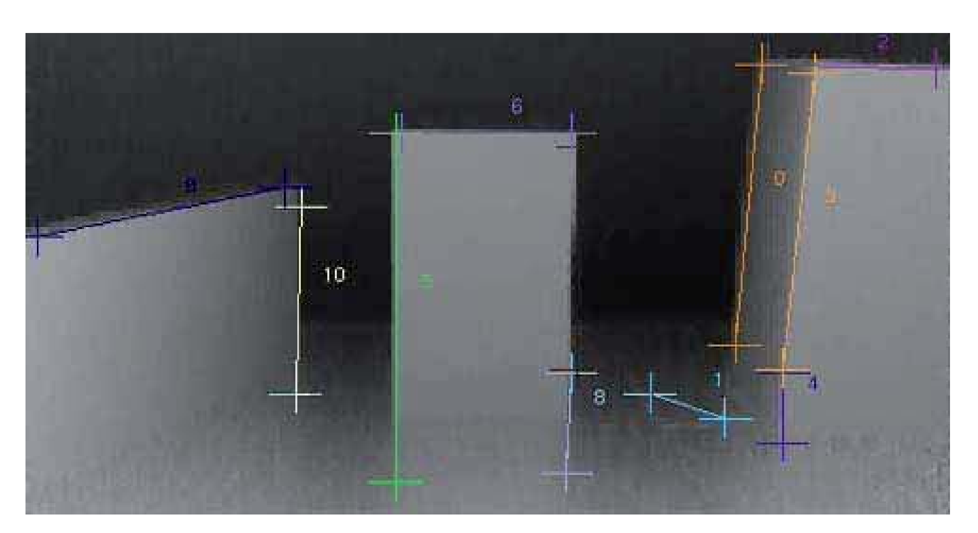


Abbildung 3: Tiefenbild (graukodierte Darstellung) mit detektierten 3-D-Kanten.

4. Anwendungsgebiete

Mit einer Tiefenkamera rekonstruierte 3-D-Modelle sowie rekonstruierte Punkt- oder Linienfeatures können in industriellen Szenarien zur Bestimmung der Kameraposition eingesetzt werden und ermöglichen somit Augmented-Reality-Anwendungen:

- Tracking
  Computer Vision gestützte Trackingverfahren liefern dann besonders gute Ergebnisse, wenn die erfassten Videobilder mit Referenzmodellen abgeglichen werden. Im Allgemeinen ist ein Referenzmodell der Umgebung jedoch nicht verfügbar. Dieses kann mit Hilfe der Tiefenkamera rekonstruiert werden, so dass nach kurzer Initialisierungsphase eine Referenzmodell für das Trackingverfahren zur Verfügung steht.

Ein rekonstruiertes Modell einer Szene kann aber nicht nur zum Tracken, sondern auch zum Geometrieabgleich eingesetzt werden. Dabei kann das folgende Szenario unterstützt werden:

- Abgleich Modell Realität
  Mit Hilfe von CAx-Systemen werden Produktionsprozesse geplant und simuliert. Häufig liegen jedoch nicht alle Modelle vor, die für die Planung benötigt werden oder es wurden Veränderungen im realen Umfeld vorgenommen, die nicht im Planungsmodell erfasst wurden. In diesem Fall kann eine AR-Visualisierung unterstützen, insbesondere dann, wenn 3-D-Geometrien erfasst und in das Planungsmodell zurückgeführt werden können.

Diese Szenarien sind nur beispielhaft und können in die unterschiedlichsten Anwendungen übertragen werden.

5. Eigenschaften von Szenen und Erfassung der Daten

Wie gut eine Szene rekonstruiert werden kann, ist abhängig von der Größe und den Materialeigenschaften der in der Szene vorhandenen Objekte. Gut zu erfassende Szenen zeichnen sich u.a. durch folgende Eigenschaften aus:

- Die maximale Distanz der Objekte liegt innerhalb des (von der gewählten Modulationsfrequenz abhängigen) eindeutigen Messbereichs. Weiter entfernte Objekte führen zu Fehlmessungen (die gemessene Distanz liegt in diesem Fall innerhalb des Messbereichs, obwohl die Objekte weiter entfernt sind).

- Die Materialien reflektieren einen ausreichenden Anteil des von der Tiefenkamera ausgesandten Lichts mittels diffuser Reflektion. Wird ein weißes Blatt Papier aus einem Meter Entfernung erfasst, kann eine Messungenauigkeit von einigen Millimetern erreicht werden. Bei dunklen Flächen liegen die Messwerte jedoch teilweise mehrere Zentimeter von der korrekten Position entfernt.

- Die Szenen sollten möglichst wenig Objekte enthalten, bei denen das Licht innerhalb der Szene gespiegelt oder gebrochen wird, bevor es wieder zur Tiefenkamera reflektiert wird.

Um möglichst genaue Messwerte zu erhalten, ist es zum Einen wichtig, die Aufnahme unter kontrollierten Bedingungen durchzuführen, u.a. in Hinblick auf die Bewegung der Kamera. Darüber hinaus müssen vor der weiteren Verarbeitung fehlerhafte Messwerte herausgefiltert oder – soweit möglich – korrigiert werden.

Wie in Abbildung 4 links zu sehen ist, werden beispielsweise bei Sprungkanten zwischen Objekten und Hintergrund Punkte an Positionen gemessen, an denen sich in der erfassten Szene kein Objekt befindet. Fehlerhafte Werte können u.a. anhand der gemessenen Amplitude oder ihrer Lage im 3-D-Raum (Distanz zu den benachbarten Messwerten) herausgefiltert werden. Mittels Bildfiltern, die auf das graukodierte Tiefenbild angewendet werden, können die Messwerte anschließend korrigiert und zum Beispiel mit einem kantenerhaltenden Filter geglättet werden.

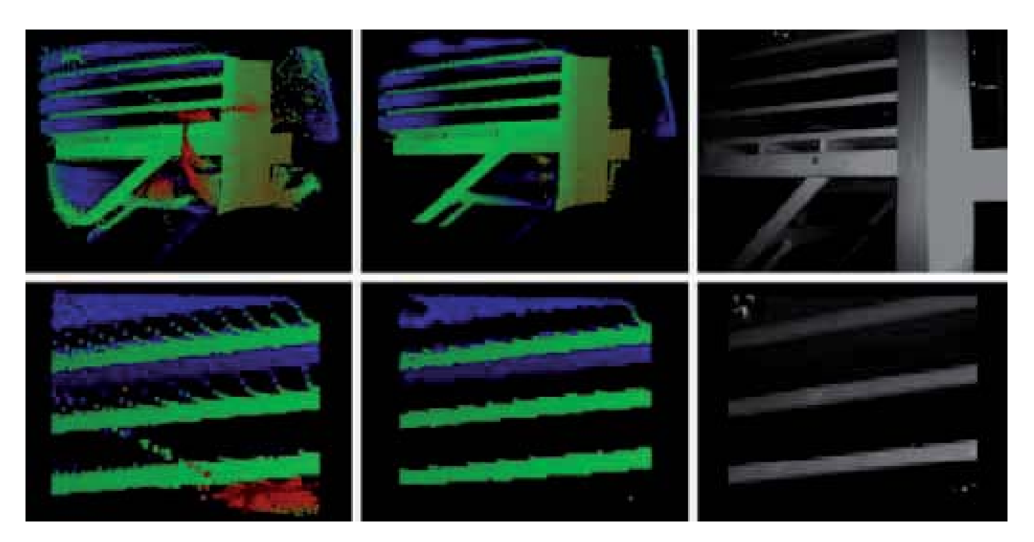


Abbildung 4: Links: Ungefiltertes Tiefenbild. Mitte: Gefiltertes Tiefenbild. Rechts: Intensitätsbild. In der unteren Reihe sind jeweils vergrößerte Bildausschnitte der obigen Bilder dargestellt.

6. Fazit

Bisherige Tiefenkameras bieten nur eine begrenzte Messgenauigkeit, welche stark von den Materialeigenschaften der Szene abhängig ist. Daher sind Tiefenkameras bislang nur zur 3-D-Rekonstruktion bei industriellen Augmented Reality Szenarien geeignet, bei welchen eine grobe Erfassung der Geometrie ausreichend ist und bei denen die Szene aus Materialien besteht, deren Distanz gut erfasst werden kann. Time-of-Flight Kameras sind jedoch eine sehr neue Technologie, die einer schnellen Weiterentwicklung und Verbesserung unterliegt. Dieses Jahr wurden von Time-of-Flight Kamera-Herstellern neue Modelle vorgestellt, die eine deutlich höhere Messgenauigkeit besitzen als die hier verwendete Kamera. Es ist zu erwarten, dass sich diese Technologie-Weiterentwicklung fortsetzen und damit die Möglichkeit eröffnen wird, mit Time-of-Flight Kameras auch für deutlich anspruchsvollere Szenen Augmented Reality Anwendungen realisieren zu können.

7. Danksagung

Die hier beschriebenen Arbeiten werden im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts AvilusPlus durchgeführt.

8. Literatur

Kazhdan, M.; Bolitho, M.; Hoppe, H., 2006, Poisson Surface Reconstruction. In SGP '06, Proceedings of the fourth Eurographics symposium on Geometry processing.

Oggier, T. et al., 2005, SwissRanger SR3000 and First Experiences based on Miniaturized 3D-TOF Cameras, In Proceedings of the 1st Range Imaging Research Day.

May, S., Pervoelz, K., Surmann, H., 2007, 3D Cameras: 3D Computer Vision of wide Scope, In Vision Systems: Applications, I-Tech, Wien.

Prusak, A. et al., 2008, Pose Estimation and Map Building with a PMD-Camera for Robot Navigation, In International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications, Volume 5, Issue 3/4.

Rusinkiewicz,S; Levoy, M., 2001, Efficient variants of the ICP algorithm, In Proceedings of the 3rd International Conference on 3-D Imaging and Modeling (3DIM).

9. Autoren

Dipl.-Inform. Svenja Kahn
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung
Fraunhoferstraße 5
64283 Darmstadt

Telefon: 06151 155 280
Telefax: 06151 155 196
E-Mail: svenja.kahn@igd.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Ulrich Bockholt
Abteilungsleiter Virtuelle und Erweiterte Realität

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet GRIS /
Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung
Fraunhoferstraße 5
64283 Darmstadt

Telefon: 06151 155 277
Telefax: 06151 155 196
E-Mail: ulrich.bockholt@igd.fraunhofer.de



Digitale Produktentwicklung

Ein System zur Montageunterstützung und -überwachung

Dipl.-Inf. Steffen Sauer
Dipl.-Ing. Jörg Niemann
Dr.-Ing. Dirk Berndt

Lebenslauf



Dipl.-Inform. Steffen Sauer

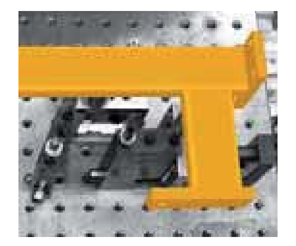
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
-automatisierung
Sandtrostraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 261
E-Mail: steffen.sauer@iff.fraunhofer.de

2000 - 2006	Diplomstudium der Informatik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
2003 - 2006	Hilfswissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IFF, Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Seit 2006	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IFF, Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Seit 2008	Leitung der Arbeitsgruppe Werkerassistenz am Fraunhofer IFF, Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik

Ein System zu Montageunterstützung und -überwachung



Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme
6. Fachtagung zur Virtual Reality

Dipl.-Inf. Steffen Sauer

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF)
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Tel.: +49 (0) 391 4090-261
Email: steffen.sauer@iff.fraunhofer.de

Folie 1





Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer

Agenda

- Einleitung und Problembeschreibung
- Vorgeschlagener Lösungsweg
  - Augmented Reality
  - 3-D-Vermessung
- Industrielle Anwendung
- Zusammenfassung und Ausblick

Folie 2





Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer

Einleitung und Problembeschreibung

- Aktuell hoher grad an Automatisierung in der Fertigung
- Großer Anteil an manueller Montagetätigkeit
- Hohe Losgrößen
  - Automatische Fehlererkennung durch spezielle Inspektionssysteme
- Geringe Losgrößen
  - Teilweise höhere Fehlerrate
  - Wahrscheinlich teurere Fehler
  - Fehlererkennung problematisch, da aufwändig
- Typische Vertreter
  - Spezial- und Sondermaschinenbau
  - Automobil- und Flugzeugindustrie
  - Elektroindustrie





6. Fachtagung zur Virtual Reality

Einleitung und Problembeschreibung

- Typische Fehler:
  - Bauteil nicht verbaut (vergessen, Unwissenheit)
  - Falsches Bauteil verbaut
  - Korrektes Bauteil falsch verbaut
- Gesucht: Methodik / System zur Vermeidung von diesen Fehlern
- Voraussetzungen
  - Konstruktionsdaten des Produkts vorhanden (idealerweise CAD-Daten)
  - Arbeitsplatz mit einer festen Bauteilaufnahme





Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer

Agenda

- Einleitung und Problembeschreibung
- **Vorgeschlagener Lösungsweg**
  - **Augmented Reality**
  - 3-D-Vermessung
- Industrielle Anwendung
- Zusammenfassung und Ausblick





Lösungsweg – Augmented Reality

- Hilfestellung für den Werker, während der Montage
- Zerlegung des Montageprozesses in mehrere definierte Arbeitsschritte
- Bereitstellung von visuellen Informationen zu jedem Arbeitsschritt:
  - Darstellung, was er / sie gerade tut
  - Hinzufügen von Informationen in diesem Kontext
  - Konstruktionsdaten der zu montierenden Einzelteile
  - Zusätzliche Informationen (Annotationen, kritische Größen, Hinweise…)
- Am korrekten Ort
- Zum korrekten Zeitpunkt
- In Echtzeit





6. Fachtagung zur Virtual Reality

Augmented Reality: Beispiel

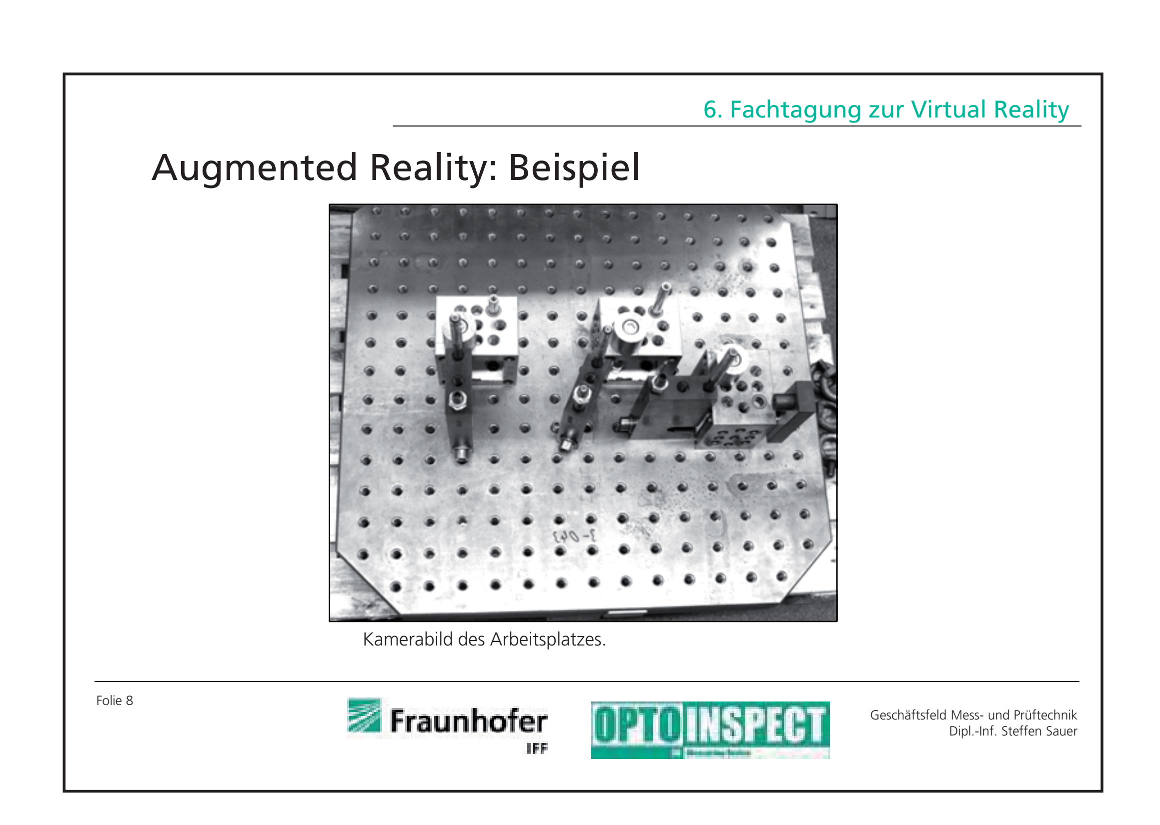
CAD-Daten der zu montierenden Baugruppe

Folie 7

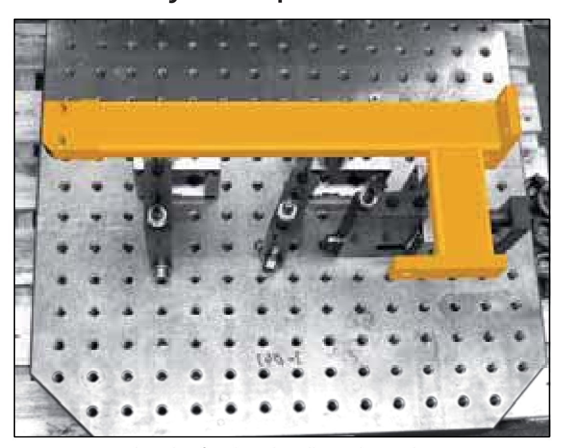
Fraunhofer IFF

OPTOINSPECT

Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer



Augmented Reality: Beispiel



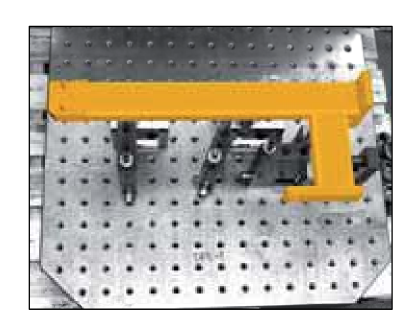
Augmented Reality für den aktuellen Arbeitsschritt





Augmented Reality: Funktionsweise

- Aufnahme von Kamerabildern vom Arbeitsplatz
- Berechnung der Kameraposition relativ zu einem Referenzkoordinatensystem (Tracking)
- Rendering der CAD-Daten des aktuellen Arbeitsschritts in einen Framebuffer
- Überblendung der Kamerabilder mit dem Framebuffer
- Evtl. Überblendung von Text-Informationen

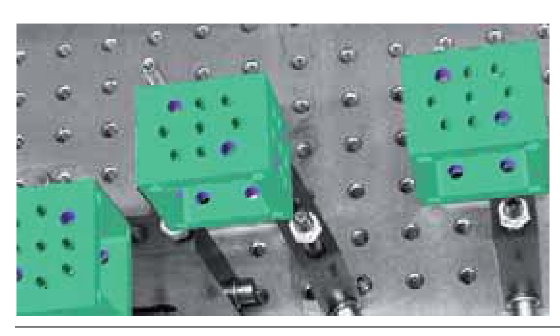






Augmented Reality: Standard-Overlay-Darstellung

- Vorteile:
  - Standard
  - Sieht schick aus
- Nachteile
  - Hintergrund wird verdeckt
  - Vordergrund wird verdeckt
  - Objektfarben sind symbolisch
  - Beleuchtung kann vollkommen falsch sein





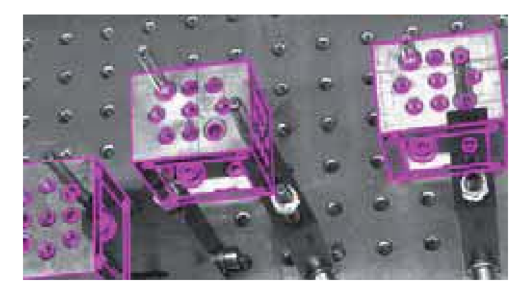


Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer

6. Fachtagung zur Virtual Reality

Augmented Reality: Konturdarstellung

- Lösung: Darstellung der Objektkontur
  - Beschreibt detailliert die Formmerkmale eines Objekts
  - Hintergrund bleibt sichtbar
  - Invariant gegenüber Farbe und Beleuchtung



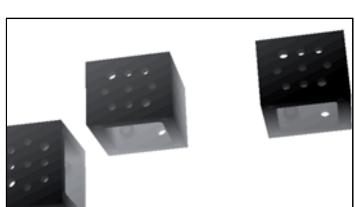




Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer

Augmented Reality: Konturdarstellung

- Kontur-Punkte: Methode nach Curtis und Decaudin:
  - Kanten des Tiefenpuffers kombiniert mit
  - Kanten des Normalenpuffers

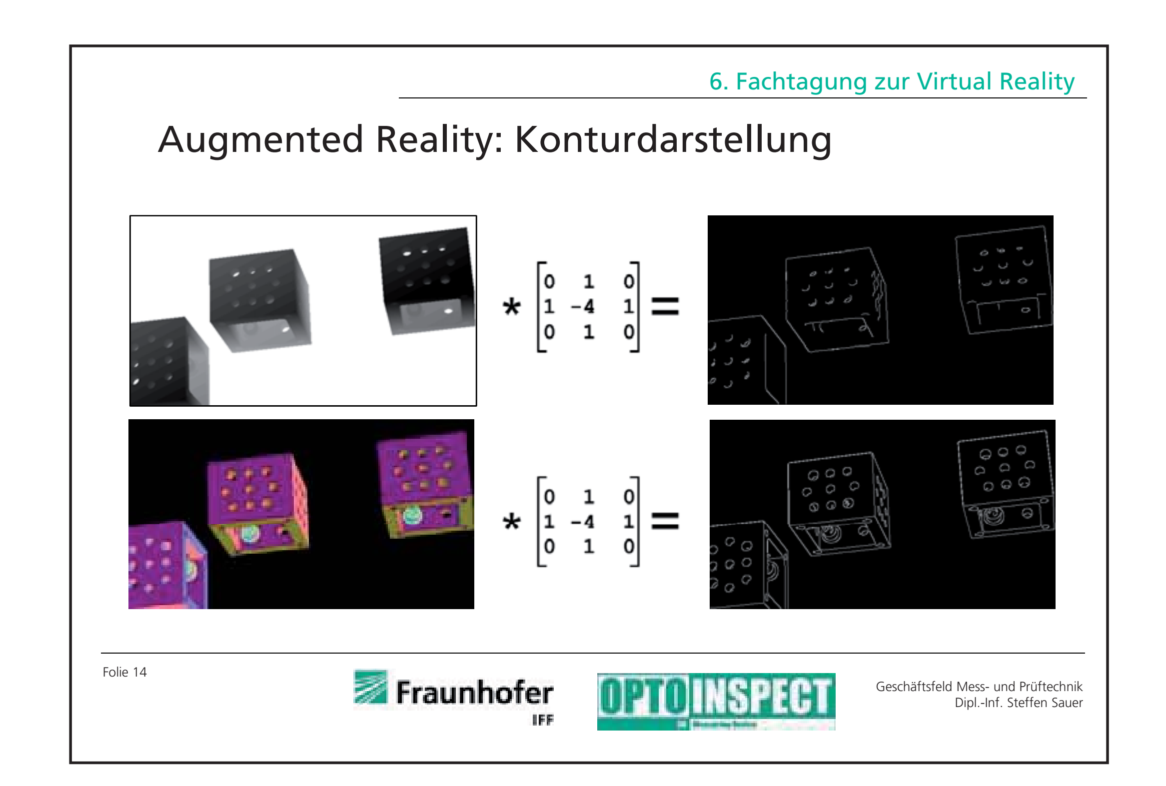








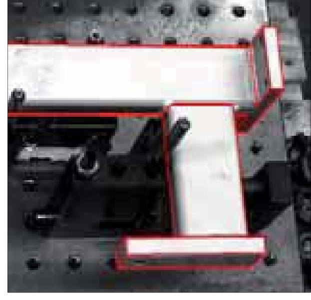
Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer

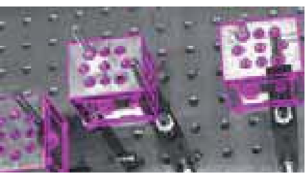


Augmented Reality: Konturdarstellung

1. Erster Render-Pass
   - Fragment-Shader codiert Oberflächennormale als Farbe
   - Tiefenpuffer (Z-Buffer) wird automatisch generiert
2. Zweiter Render-Pass
   - Laplace auf beiden Puffern; Zeichne Kontur, wenn Schwellwert überschritten wird ansonsten Kamerabild

- Vorteile
  - Einfache, aber effiziente Visualisierung
  - Generierung in Echtzeit









Agenda

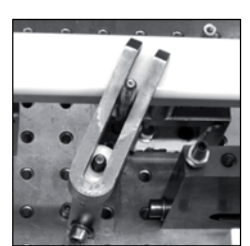
- Einleitung und Problembeschreibung
- Vorgeschlagener Lösungsweg
  - Augmented Reality
  - **3-D-Vermessung**
- Industrielle Anwendung
- Zusammenfassung und Ausblick





Montageüberprüfung (Forschungsgegenstand)

- Visualisierung ermöglicht nur „Werkerselbstkontrolle“
- Keine Erkennung von Fehlern
- Erweiterung des Systems:
  - 3-dimensionale Vermessung der Bauteile des aktuellen Arbeitsschrittes
  - Vermessung nach dem Stereo-Triangulationsverfahren
- Vorteile:
  - Soll-Zustand gegeben (CAD-Daten)
  - Kein „Einlernen“ erforderlich



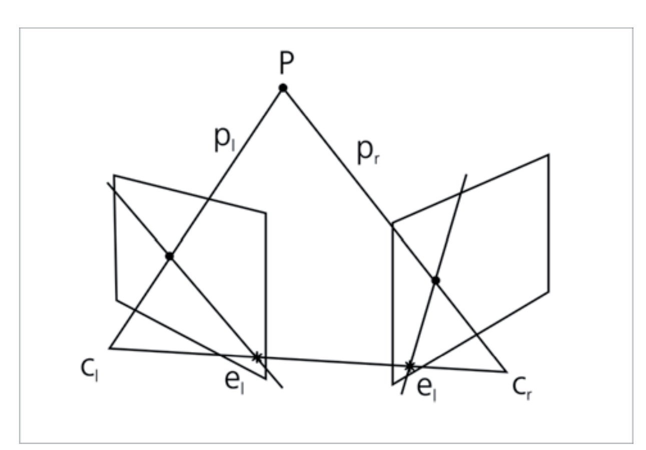






Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer

Montageüberprüfung: 3-D-Vermessung

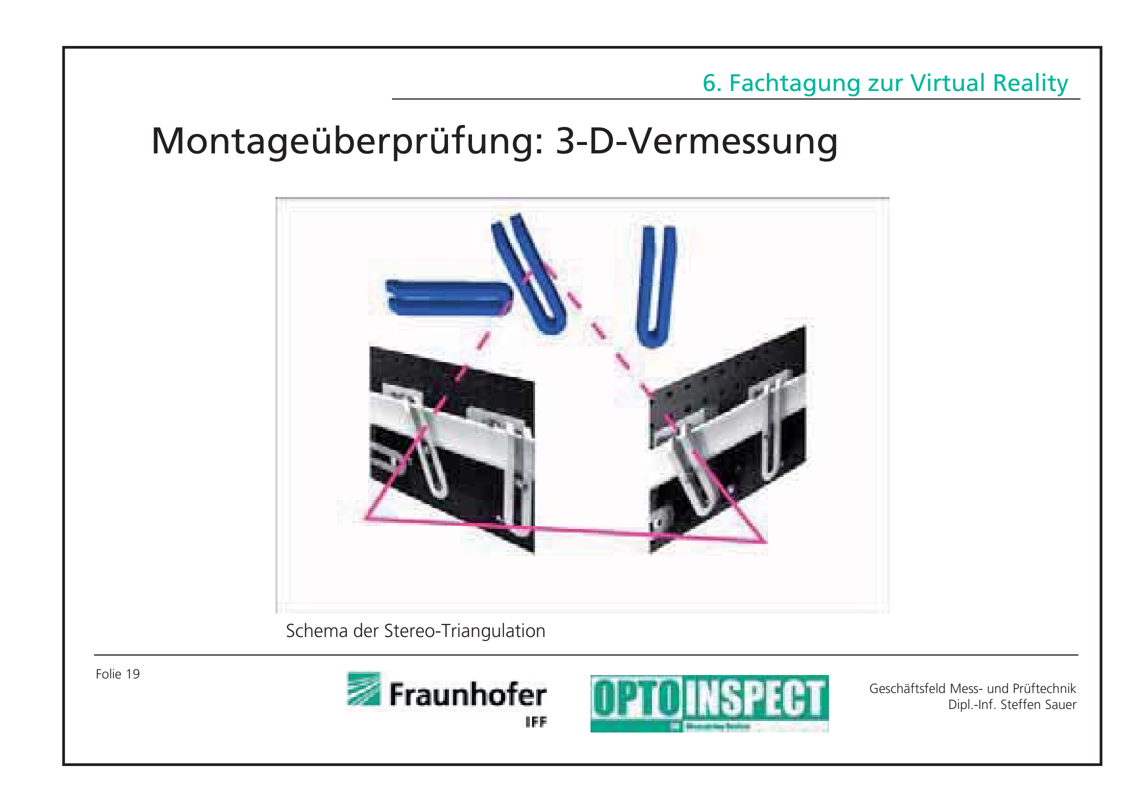


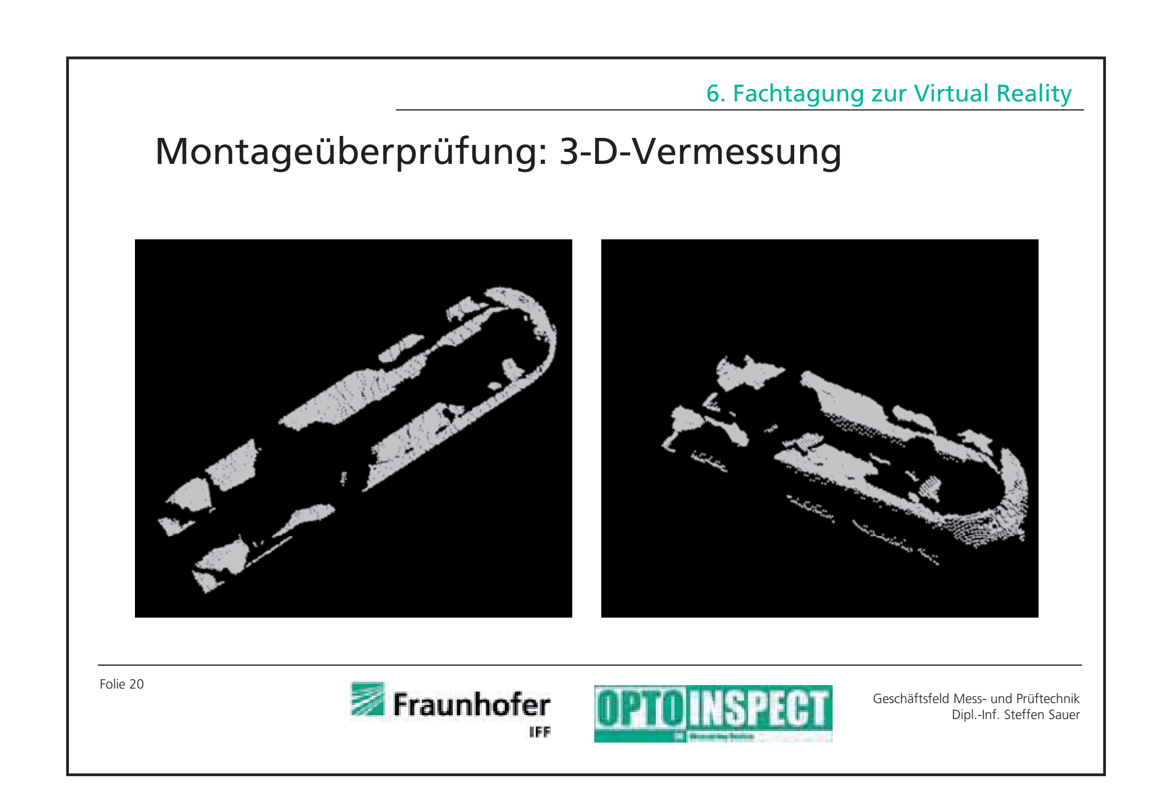
Schema der Stereo-Triangulation





Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer


6. Fachtagung zur Virtual Reality
Montageüberprüfung: 3-D-Vermessung
Schema der Stereo-Triangulation
Folie 19
Fraunhofer
IFF
OPTOINSPECT
Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer


6. Fachtagung zur Virtual Reality
Montageüberprüfung: 3-D-Vermessung
Folie 20
Fraunhofer
IFF
OPTOINSPECT
Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer

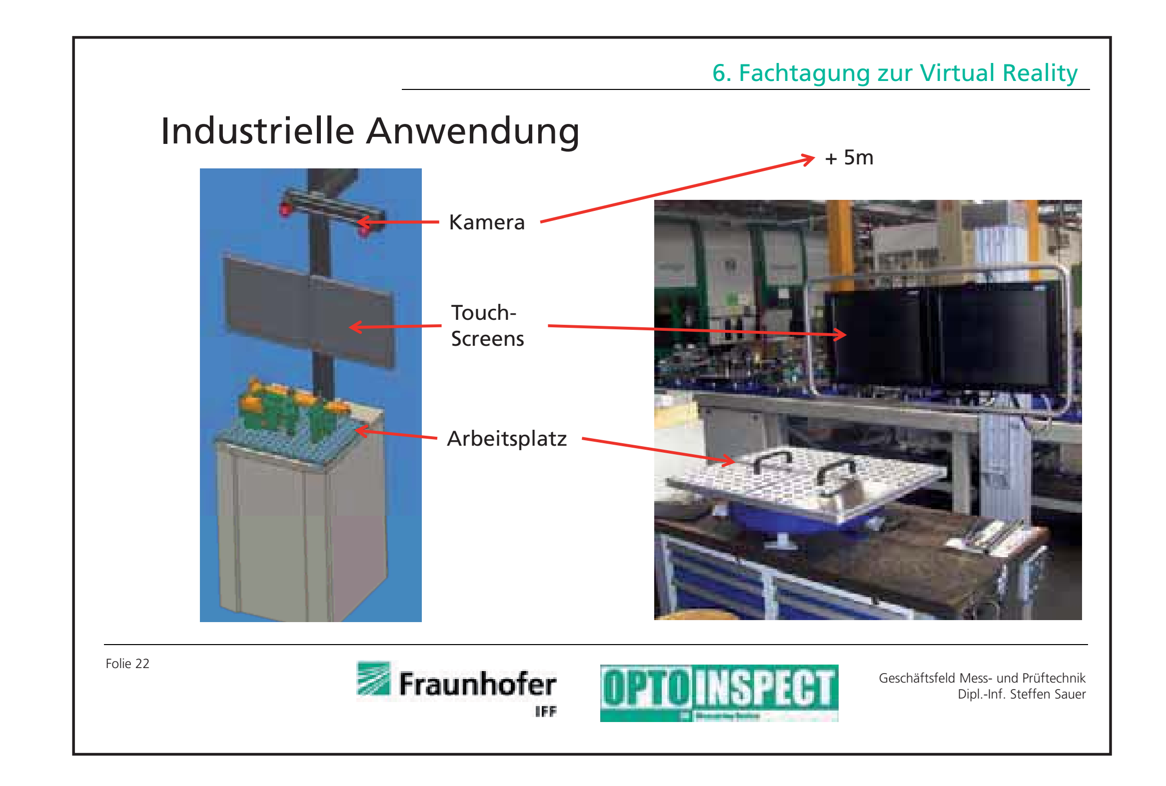
Agenda

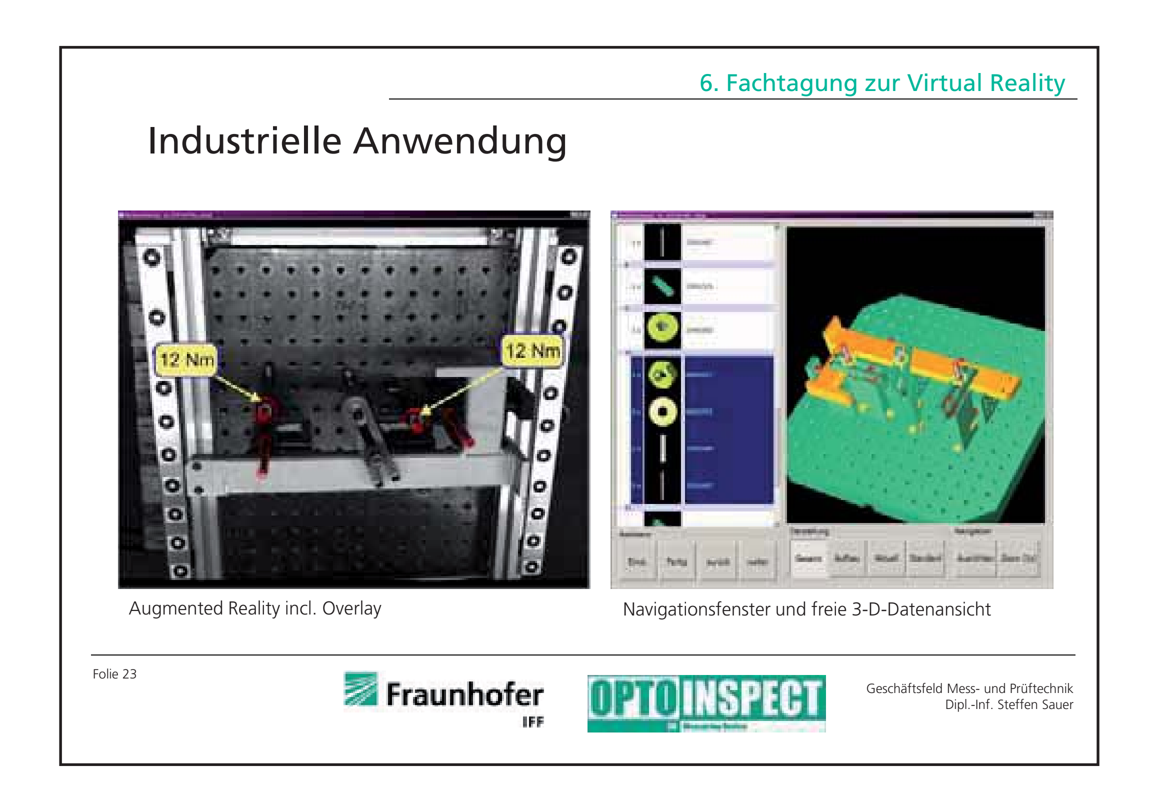
- Einleitung und Problembeschreibung
- Vorgeschlagener Lösungsweg
  - Augmented Reality
  - 3-D-Vermessung
- **Industrielle Anwendung**
- Zusammenfassung und Ausblick





Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer





Industrielle Anwendung

Video …

Folie 24





Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer

Agenda

- Einleitung und Problembeschreibung
- Vorgeschlagener Lösungsweg
  - Augmented Reality
  - 3-D-Vermessung
- Industrielle Anwendung
- **Zusammenfassung und Ausblick**





Zusammenfassung

- Demonstration eines Werkerassistenzsystems
  - Kein Expertensystem
  - Minimale Komponenten, einfacher Aufbau
  - Hohe Akzeptanz bei den Benutzern
  - Hilft Fehler zu vermeiden
  - Beschleunigt die Platzierung variabler Bauteile
  - Schnelle und effiziente Algorithmen zur Darstellung der Objektkonturen
- Erweiterung um 3-dimensionale Vermessung
  - Optimal für besonders kritische Bauteile
  - Ziele:
    - maximale Informationsgewinn aus den CAD-Daten
    - Nutzung des Potenzials aktueller GPUs






6. Fachtagung zur Virtual Reality
Vielen Dank.
Folie 27
Fraunhofer
IFF
OPTOINSPECT
Geschäftsfeld Mess- und Prüftechnik
Dipl.-Inf. Steffen Sauer

Autoren

Dipl.-Inf. Steffen Sauer
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
-automatisierung
Mess- und Prüftechnik
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 261
E-Mail: steffen.sauer@iff.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Jörg Niemann

KOLBUS GmbH & Co. KG
Osnabrücker Starße 77
32369 Rahden

Telefon: 05771 71139
E-Mail: joerg.niemann@kolbus.de

Dr.-Ing. Dirk Berndt
Geschäftsfeldleiter Mess- und Prüftechnik

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
-automatisierung
Mess- und Prüftechnik
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 261
E-Mail: dirk.bendt@iff.fraunhofer.de



Digitale Produktentwicklung

Bewertung und Adaption von FE-Modellen im VE-Prozess

Dipl.-Ing. Corinna Barthel
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Ulrich Gabbert

Lebenslauf



Dipl.-Ing. Corinna Barthel

Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Universtätsplatz 2
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 67 12754
E-Mail: corinna.barthel@mb.uni-magdeburg.de

2000-2006	Studium des Maschinenbaus, Vertiefung Angewandte Mechanik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
2006	Diplomarbeit am Fraunhofer IFF, Thema: Analyse von Methoden und Möglichkeiten einer rechnerunterstützten Entwicklung von Teilen einer Werkzeugmaschine
Seit 2006	Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Projekt Automotive an der Otto-von-Guericke-Universität, Institut für Mechanik

Bewertung und Adaption von FE-Modellen im VE-Prozess

Dipl.-Ing. Corinna Barthel, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Ulrich Gabbert

1. Einleitung

Die Entwicklung und Verbesserung von Methoden des Virtual Engineering (VE) für den ganzheitlichen rechnergestützten Produktentwurf ist ein Schwerpunkt aktueller Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, der mit dem das Ziel verfolgt wird, die Produktqualität zu steigern und Entwicklungszeiten und –kosten zu reduzieren. Für strukturmechanische Analysen und Simulationen unter Verwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM) stehen dem Ingenieur in der Praxis bewährte kommerzielle Softwareprodukte für seine Berechnungen zur Verfügung, die in den CAD-Prozeß integriert sind und eine weitgehend automatisierte Berechnung selbst komplexester Problemstellungen versprechen. Dafür bieten die kommerziellen Programme eine große Anzahl von Lösungsmöglichkeiten an, denen unterschiedlichste Arten von finiten Elementen, Modellannahmen, Idealisierungen und Lösungsmethoden zu Grunde liegen, die einen mehr oder weniger großen Modellfehler zur Folgen haben und damit die Qualität der Lösung und den erforderlichen Rechenaufwand entscheidend beeinflussen.
Die erzielte Lösungsqualität einer FE-Analyse hängt heute noch ausschließlich von den Kenntnissen und den Erfahrungen des Berechnungsingenieurs ab, dem die Berechnungssoftware nur wenige Hilfsmittel zur Kontrolle der Lösung anbietet. Um eine ausreichende Qualität der FE-Anwendungen im Rahmen des Virtual Engineering zu gewährleisten, ist es erforderlich, dem Ingenieur weitere objektive Kriterien zur Bewertung von Modellen und Lösungen bereitzustellen, die es ihm beispielsweise ermöglichen, den Gültigkeitsbereich eines FE-Modells einzuschätzen. In kommerziellen Programmsystemen steht dem Anwender ausschließlich die Möglichkeit zur Abschätzung des Diskretisierungsfehlers zur Verfügung, wobei zwischen unterschiedlichen Methoden eine geeignete zu wählen ist. Außerdem ist die Frage wichtig, ob der gewählte Modelltyp geeignet ist, um den sich einstellenden Spannungszustand abzubilden. In diesem Beitrag werden verschiedene Methoden zur Modellbewertung von FE-Modellen vorgestellt, die auf einer Abschätzung der Diskretisierungsfehler und der Modellfehler basieren.
Mit der Dimensionsfehlerschätzung, auf die besonders eingegangen wird, gelingt es an Hand verschiedener Kriterien, die Qualität der mit einem bestimmten Modelltyp, z.B. einem Balken-, Scheiben- oder Schalenmodell, berechneten Lösung zu bewerten.

2. Modellfehler

In Abbildung 1 ist der VE-Prozess und mit den dabei üblicherweise eingesetzten Methoden und Werkzeugen dargestellt. Für die Berechnung ist stets die Erstellung eines Modells erforderlich, das aufgrund der bei Modellbildung getroffenen Annahmen und Idealisierungen einen mehr oder weniger großen Modellfehler aufweist. Für die Berechnung und Simulation von strukturmechanischen Bauteilen stellt die FEM (Finite-Elemente-Methode) ein vielseitig einsetzbares Werkzeug dar, bei der das Bauteil diskretisiert, d.h. in finite Elemente unterteilt wird. Die bei Anwendung dieser Methode entstehenden Modellfehler sind in Abbildung 1 dargestellt. Um ein Ergebnis von ausreichender Qualität im Simulations- und Berechnungsprozess zu erreichen, müssen die Modellfehler hinreichend klein sein. Da eine genaue Kenntnis dieser Modellfehler nicht möglich ist, muss eine Abschätzung erfolgen, für die verschiedene Methoden entwickelt wurden, die dazu beitra-

gen die Modellerstellung zu objektivieren. Für strukturmechanische Modelle, die zur Berechnung der im Bauteil entstehenden Spannungen eingesetzt werden, sind vor allem der Diskretisierungsfehler und der Dimensionsfehler entscheidende Kriterien der Modellqualität.

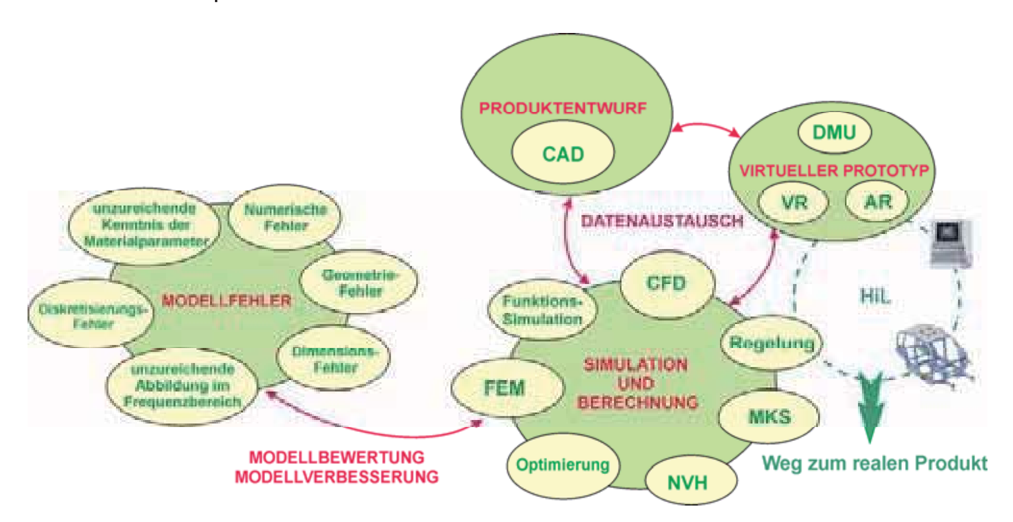


Abbildung 1 VE-Prozess und Modellbewertung [Ga et al.]

2.1 Schätzung des Diskretisierungsfehlers

Die Methoden zur Abschätzung des Diskretisierungsfehlers lassen sich in residuale Methoden und glättungsbasierte Verfahren unterteilen [ZiTa00]. Für die residualen Methoden wurde von I. Babuska ein expliziter Fehlerschätzer Gl. (1) angegeben, der sich aus dem Residuum des Spannungsgleichgewichts und den Spannungssprüngen am Elementrand zusammensetzt.

$$\lambda_e^2 = c_e^* \left[h_e^2 \int_{\Omega} \mathbf{r}^t \, \mathbf{r} \, dV_e + c h_e \int_{\Omega} \mathbf{J}^T \mathbf{J} \, d\,O \right] \quad \textbf{(1)}$$

Mit den Residuen des Spannungsgleichgewichts

$$\mathbf{r} = \mathbf{D}^T \boldsymbol{\sigma} + \overline{\mathbf{p}} = \mathbf{D}^T (\mathbf{EDu}) + \overline{\mathbf{p}} \quad \textbf{(2)}$$

und den Spannungssprüngen an den Elementrändern

$$\mathbf{J} = \left(\mathbf{n}^T \boldsymbol{\sigma}\right)_a + \left(\mathbf{n}^T \boldsymbol{\sigma}\right)_b \quad \textbf{(3)}$$

In Abbildung 1 ist ein FE-Modell dargestellt, dessen Vernetzung unter Nutzung des Babuska-Indikators adaptiert wurde.

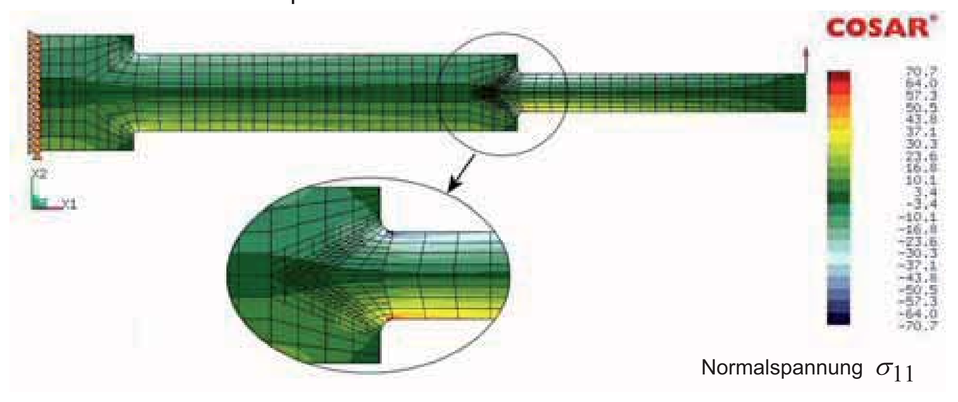


Abbildung 2 Netzadaption unter Nutzung des Babuska-Indikators

Die größten Spannungen im Modell treten an den Ausrundungen auf. In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass das FE-Netz nicht nur in den Gebieten mit hohen Spannungen und Spannungsgradienten verfeinert wird, sondern auch in einem Gebiet, in dem das nicht der Fall ist. Dieser Effekt tritt bei Modellen mit nichtrechtwinkligen Elementen auf, da sich zusätzliche numerische Fehler durch die Berechnung der zweiten Ableitungen der Verschiebungsfunktionen ergeben.
Für Modelle mit komplexer Geometrie, wie sie im VE-Prozess häufig auftreten, sind daher Fehlerindikatoren, die auf dem Residuum des Spannungsgleichgewichts basieren, für finite Elemente mit linearen oder quadratischen Ansatzfunktionen nicht gut geeignet.
Wird allerdings nur der zweite Term des Fehlerindikators nach Gl. (1) verwendet, ergibt sich ausschließlich eine Netzverfeinerung in den Gebieten mit hohem Spannungsgradienten. Die Netzadaption zeigt damit ähnliche Ergebnisse wie bei Verwendung der glättungsbasierten Fehlerindikatoren [BaGa08], die von Zienkiewicz und Zhu entwickelt wurden [ZiZh87].

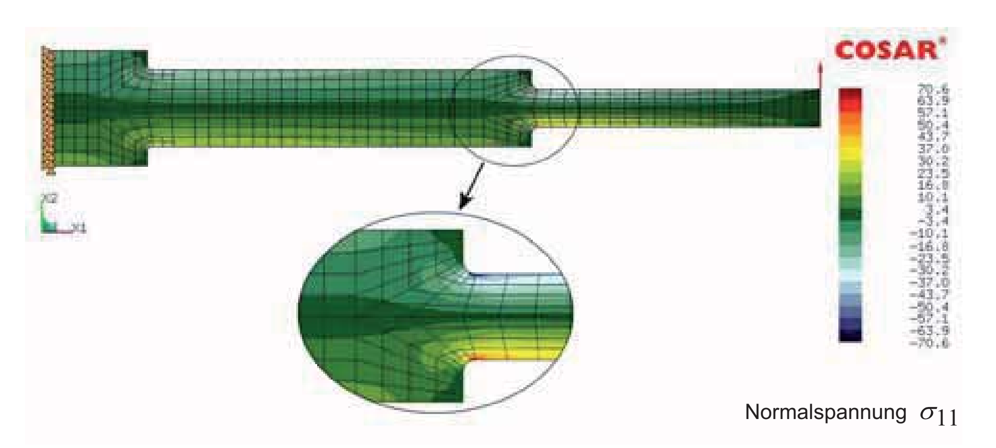


Abbildung 3 Netzadaption unter Nutzung des Babuska-Indikators ohne Berücksichtigung der Residuen

Für Bauteile mit komplexer Geometrie ist es daher sinnvoll, nur die Spannungssprünge zwischen den Elementen für die Berechnung des Fehlerindikators zu verwenden. In [Mü92] wurde außerdem gezeigt, dass die beiden Anteile des Fehlerindikators von Babuska die gleiche Konvergenzordnung besitzen und diese identisch mit der Konvergenzordnung der Formänderungsenergie der Finite-Element-Lösung sind. Damit ist die Steuerung adaptiver Verfahren auch aus einem der beiden Anteile möglich. In [Oh96] wird dieser Anteil des Fehlerindikators als heuristischer Fehlerindikator bezeichnet und für die dort beschriebene Netz- und Dimensionsadaption verwendet.

2.2 Schätzung des Dimensionsfehlers

Der Dimensionsfehler ergibt sich aus der Modellierung eines Bauteils mit unzureichenden kinematischen Hypothesen. Basiert das Modell eines realen Bauteils beispielsweise auf der Kirchhoff'schen Schalentheorie, der reale Spannungszustand genügt aber nicht der damit verbundenen Hypothese, sondern es stellt sich ein komplizierter dreidimensionaler Spannungs- und Verformungszustand ein, ergibt sich ein Dimensionsfehler. Ein Verfahren zur Lokalisierung von Modellbereichen, bei denen die verwendeten kinematischen Hypothesen und konstitutiven Gleichungen nicht ausreichen, wurde von Stein und Ohnimus beschrieben [Oh96]. Der Ablauf dieses Verfahrens ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Dimensionsadaption wird stets in Verbindung mit einer Diskretisierungsfehlerschätzung und Netzverfeinerung durchgeführt.

Ist der berechnete Indikator η_e für ein Element größer als ein kritischer Wert, der eine Netzverfeinerung zur Folge hat, werden zusätzlich zwei weitere Kriterien geprüft.

$$\eta_e^2 = \int_{\Omega_i} \mathbf{J}^T \mathbf{J} \; d\Omega_i \tag{4}$$

Als Fehlerindikator wird ein sogenannter heuristischer Fehlerindikator η_e basierend auf den Spannungssprüngen zwischen den Elementen vorgeschlagen, der dem zweiten Teil des expliziten Fehlerindikators von Babuska entspricht (vergl. Gl. 3). Das ist zunächst die Abmessung eines Elements l_e, die kleiner als eine kritische Elementabmessung $l_{krit}=2{,}5\ h$ sein muss und von der Elementdicke h abhängig ist. Diese Bedingung wird mit dem St. Venant'schen Prinzip begründet, nach dem sich Störeinflüsse in einem gewissen Abstand (2-3 mal die Dicke) nur noch wenig auf das Ergebnis auswirken. Mit diesem Kriterium wird verhindert, dass für große Elemente ein Dimensionssprung erfolgt, deren Fehlergröße auch durch eine Netzverfeinerung noch verringert werden kann.

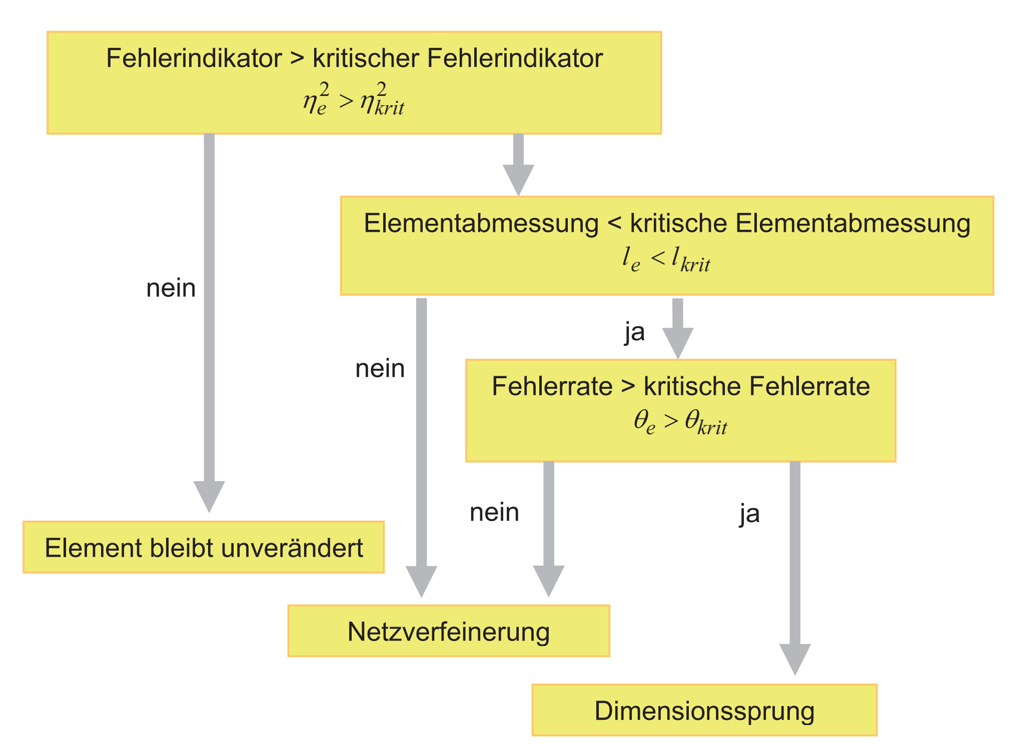


Abbildung 4 Kriterien für Dimensionssprung

Die zweite zusätzliche Bedingung bezieht sich auf die Fehlerrate, die die Fehlerentwicklung auf einem bestimmten Gebiet kontrolliert. Dazu wird die Fehlerdichte im Elementgebiet Ω_e ermittelt.

$$\rho_{e} = \frac{\eta_e^2}{\int_{\Omega_e} d\,\Omega_e} \tag{5}$$

Bei Netzverfeinerung, d.h. Zerlegung des Elements in j Teilgebiete, muss die Fehlerdichte ρ_e im Teilgebiet j abnehmen. Das heißt, die Fehlerrate muss kleiner oder gleich 1 sein.

$$\theta_{ej} = \frac{\rho_{ej}^2}{\rho_e^2} \tag{6}$$

Durch diese Bedingung werden Singularitäten infolge von Lasteinleitungen, Dickensprüngen oder Lagern identifiziert. Solche Bereiche lassen sich mit einem

einfachen Modell nicht approximieren, so dass ein Dimensionssprung erfolgen muss und damit das Modell beispielsweise die Geometrie genauer wiedergibt (z.B. mit Ausrundungen), so dass keine Singularität mehr auftritt.
Die vorgestellten Kriterien wurden im Finite-Elemente-Programmsystem COSAR implementiert, und im Folgenden wird die Dimensionsadaption an einem einfachen Beispiel dargestellt. Die in Abbildung 5 dargestellte Scheibe lässt sich aufgrund ihrer Abmessungen gut als Balkenmodell abbilden. An den Dickensprüngen kommt es allerdings zu Spannungsüberhöhungen durch die Kerbwirkung, die im Balkenmodell nicht enthalten ist.

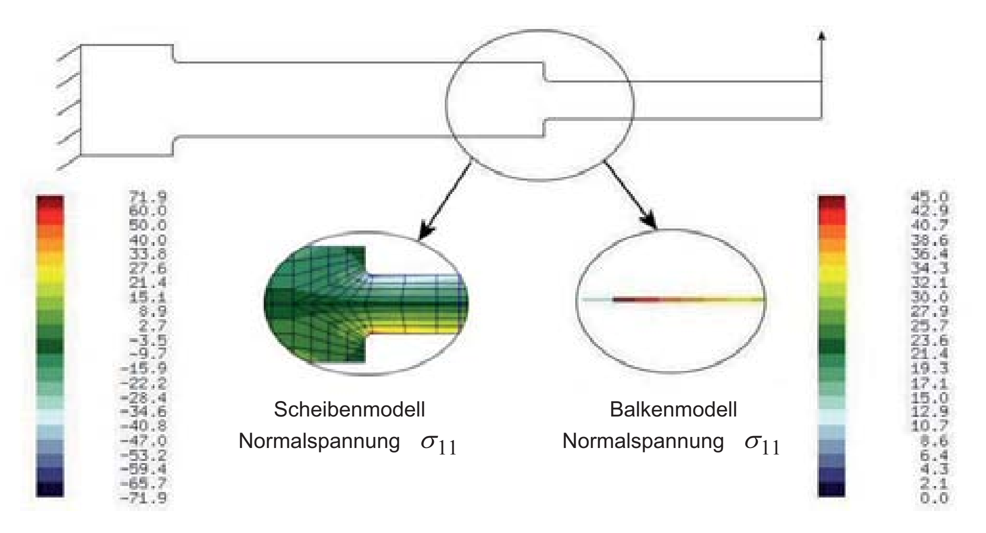


Abbildung 5 Scheibenmodell

In den übrigen Bereichen des Modells stellt sich ein ungestörter Spannungszustand ein, der mit dem Balkenmodell sehr gut abgebildet werden kann. Ein Modell mit möglichst geringer Anzahl an Freiheitsgraden, das den sich einstellenden Spannungszustand in guter Qualität wiedergibt, ist eine Kombination aus Balken- und Scheibenmodell. Um eine automatisierte Erstellung des Modells zu erreichen, bei dem die Scheibenmodellierung nur an den Stellen eingesetzt wird, an denen sie wirklich notwendig ist, wird die Dimensionsfehlerschätzung eingesetzt. Ausgangsmodell ist ein Balkenmodell, bestehend aus drei Elementen (Abbildung 6).

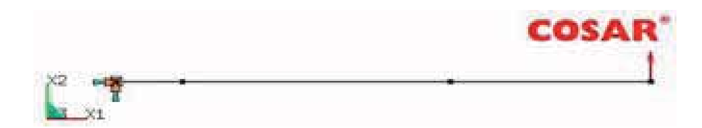


Abbildung 6 Ausgangsmodell

In den ersten drei Adaptionsschritten erfolgt eine Netzverfeinerung. Die Kriterien für eine Dimensionsadaption werden nicht erfüllt. Im 4. Adaptionsschritt wird für einen der Dickensprünge die Notwendigkeit zum Dimensionssprung festgestellt, da sich die Fehlergröße durch Netzverfeinerung nicht mehr verringern lässt, die Fehlerrate ist größer als 1. Das angepasste Modell ist in Abbildung 7 dargestellt.

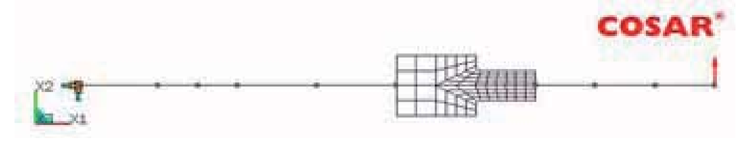


Abbildung 7 Adaptiertes Modell

Für die Kopplung von Balken- und Scheibenmodellen, die eine unterschiedliche Anzahl an Freiheitsgraden aufweisen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Es können Zwangsbedingungen zwischen den verschiedenen Freiheitsgraden formuliert oder Übergangselemente eingesetzt werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung der Arlequin-Methode [DhiRa05], die eine kompatible schwache Kopplung zwischen den Elementen durch Überlagerung der Elementenergie gewährleistet. Diese Methode besitzt den Vorteil, dass die Spannungssprünge am Kopplungsrand kleiner sind als bei anderen Kopplungsmethoden und dadurch geringere Auswirkungen auf nachfolgende Schritte der Fehlerschätzung erwarten lassen [BaGa09].

3. Zusammenfassung und Ausblick

Die Verfahren zur Dimensionsadaption stellen objektive Kriterien bereit, die es erlauben Strukturmodelle mit möglichst wenigen Freiheitsgraden automatisiert bereitzustellen. Die Kriterien zur Dimensionsadaption wurden im FEM-Programmsystem COSAR implementiert und getestet. Zur Zeit ist der Adaptionsprozess nur teilautomatisiert möglich. Es wird aber an einer entsprechende Datenstruktur gearbeitet, die es ermöglichen soll, die Geometrie der höheren Dimension zu hinterlegen und, wenn erforderlich abzurufen und automatisch in das bestehende Modell zu integrieren.
Wweitere Arbeiten befassen sich mit der kompatiblen Kopplung der einzelnen Modellbereiche durch die Kopplung keine zusätzlichen Störungen in das Modell eingebracht werden dürfen, die zu einer Überbewertung des Kopplungsbereiches in weiteren Schritten der Fehlerschätzung führen würden. Die Arlequin-Methode [DhiRa05] ist diesbezüglich ein vielversprechender Ansatz.
Weitere interessante Forschungsarbeiten für die Modellbewertung und –verbesserung für den Bereich Automotive ist die lokale Netzadaption durch Dualitätstechniken. Dieses Verfahren erlaubt es, Netze so zu verfeinern, dass eine bestimmte lokale Größe, z.B. eine Verschiebung oder Spannung besonders genau berechnet wird. Dies ist besonders interessant für Sensorapplikationen im Zusammenhang mit der Regelung von Strukturschwingungen. Im Projekt Automotive sollen diese neuen Entwicklungen ebenfalls untersucht und auf Modelle, die für diesen Anwendungsbereich typisch sind, übertragen werden.

4. Literatur

[BaGa09] Barthel, C., Gabbert, U., 2009, Modelling issues of a holistic finite element approach in the virtual engineering design process, PAMM-Proceedings, Applied Mathematics and Mechanics, (accepted, in print)

[Mü92] Mücke, R., 1992, Beitrag zur Berechnung linearer Elastizitätsprobleme mit h-adaptiven Finite-Element-Verfahren, Dissertation, Universität Magdeburg

[Oh96] Ohnimus, St., 1996, Theorie und Numerik dimensions- und modelladaptiver Finite-Elemente-Methoden von Flächentragwerken, Dissertation, Universität Hannover

[ZiZh87] Zienkiewicz, O.C., Zhu, J.Z.,1987, A Simple Error Estimator and Adaptive Procedure for Practical Engineering Anaylsis, Int. Journal for Num. Methods in Eng., Vol. 24, p. 337-357

[ZiTa00] Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L., 2000, The Finite Element Method, Butterworth-Heinemann, Oxford

[Ga et al.] Gabbert, U., Nestorovic, T., Wuchatsch, J., 2008: Methods and possibilities of a virtual design for actively controlled smart systems, Computers and Structures, Vol. 86, p. 240-250

[Dhi, Ra05] Ben Dhia, H., Rateau, G., 2005, The Arlequin method as a lexible engineering design tool, Int. Journal Num. Methods in Eng., Vol. 62, pp. 1442-1462

5. Autoren

Dipl.-Ing. Corinna Barthel
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät für Maschinenbau
Institut für Mechanik
Universitätsplatz 2, Gebäude 10
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 67 12754
Telefax: 0391 67 12439
E-Mail: corinna.barthel@mb.uni-magdeburg.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Ulrich Gabbert
Geschäftsführender Leiter

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät für Maschinenbau
Institut für Mechanik
Lehrstuhl für Numerische Mechanik
Universitätsplatz 2, Gebäude 10
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 67 18609
Telefax: 0391 67 12439
E-Mail: ulrich.gabbert@mb.uni-magdeburg.de

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Digitale Produktentwicklung

Einsatz der Gießsimulation für die Bauteil- und Prozessentwicklung – Möglichkeiten und Potentiale

Dr.-Ing. Alexander Wagner

Lebenslauf



Dr. Alexander Wagner

PDC - Numerische Simulation

nemak Wernigerode GmbH
Gießerweg 10
38855 Wernigerode

Telefon: 03943 652 1239
E-Mail: alexander.wagner@nemak.com

20.12.1971	geboren in Magdeburg
1978 - 1990	Schulausbildung bis zu Abitur am heutigen Geschwister-Scholl-Gymnasium Magdeburg
1991 - 1997	Studium an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg Studiengang: Wirtschaftsingenieur für Produktionstechnik, Vertiefungsrichtung Urformtechnik / Gießereiwesen Diplomarbeit zum Thema: „Ermittlung grundsätzlicher Zusammenhänge zwischen charakteristischen Gussteilparametern und -preisen“
1997 u. 1998	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung, IFQ der Universität Magdeburg Schwerpunkt: Qualitätssicherung und Technologiebeurteilung für Gießereisandkerne
1998 - 2001	Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Magdeburger Forschungsinstitutes für Fertigungsfragen, MFF e.V. (Aninstitut des IFQ) Schwerpunkt: Anwendung von Systemen zur numerische Simulation zur Optimierung von Gießprozessen
14.04.2000	Promotion an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Dissertation zum Thema: „Beanspruchung, Eigenschaften und Fertigung von verlorenen Kernen für den Aluminium-Kokillenguss“
2001 - 2004	Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutes für Fertigungstechnik im Automobilbau, Inferta GmbH (Ausgründung aus dem IFQ)

	Schwerpunkt: Anwendung und Verbesserung von Systemen zur numerische Simulation von Gießprozessen
seit 2004	Entwicklungsingenieur bei der Fa. Nemak im Entwicklungszentrum Wernigerode (damals Rautenbach Aluminium Technologie) Schwerpunkt: Betreuung und Anwendung diverser Simulationssysteme zur Gießsimulation (MagmaSoft, Wincast, Flow3D),Unterstützung des Verkaufs, der Entwicklung und der Produktion, Ermittlung und Implementierung firmenspezifischer Parameter und Randbedingungen für eine nachhaltige Verbesserung der Simulationsgenauigkeit

Einsatz der Gießsimulation für die Bauteil- und Prozessentwicklung - Möglichkeiten und Potentiale

Dr.-Ing. Alexander Wagner

1. Einleitung

Immer kürzere Entwicklungszeiten im Automobilbau machen den Einsatz geeigneter Methoden zur Straffung und Beschleunigung der Entwicklungsprozesse erforderlich. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die zu entwickelnden Bauteile. Die allgemeinen Trends der letzten Jahre in dieser Branche wie z.B. Reduzierung von Gewicht und Verbrauch, Verbesserung des Wirkungsgrades und Reduzierung der Kosten werden durch die aktuelle Marktsituation noch deutlich verschärft. Kleine Motoren mit niedrigem Verbrauch und geringer Belastung der Umwelt sind z.Zt. von besonderem Interesse. Besonders interessant sind Fahrzeuge, die neben den genannten Punkten auch noch durch überdurchschnittliche Fahrleistungen überzeugen. Das Streben nach ständiger Verbesserung der Gebrauchseigenschaften zwingt die Automobilhersteller und ihre Zulieferer zur Lösung neuer, komplizierter Fertigungsaufgaben. Ein Schwerpunktbereich im Automobil sind Powertrain-Komponenten. Die in diesem Bereich eingesetzten Gussteile werden komplexer und komplizierter. Massereduzierung und Funktionsintegration sind wesentliche Forderungen der Automobilproduzenten an ihre zuliefernden Gießereien. Gleichzeitig werden die für die Entwicklung zur Verfügung stehenden Zeiten immer kürzer.

Durch den prozessorientierten Einsatz rechnergestützter Techniken ergeben sich enorme Potentiale zur Reduzierung von Entwicklungszeiten und -kosten und zur Erreichung der gewünschten Gebrauchseigenschaften, insbesondere bei komplexen Bauteilen mit hohem Schwierigkeitsgrad. Ein wesentliches Hilfsmittel bei der Bauteil- und Prozessentwicklung ist die numerische Simulation So sind beispielsweise bei der Entwicklung komplizierter Motorkomponenten numerische Simulationen nicht mehr wegzudenken, z.B. für den Festigkeitsnachweis oder die Funktionsoptimierung (CFD-Berechnungen, FE-Berechnung, Lebensdauer).
Aber auch bei der Prozessgestaltung und Technologiefestlegung sind durch den Einsatz von Simulationssystemen erhebliche Einsparungen möglich. Im Gegensatz zur herkömmlichen Trial & Error-Methode können durch die virtuelle Vorwegnahme der realen Prozesse durch die Gießsimulation speziell bei neuen, komplizierten Fertigungsaufgaben erhebliche Zeit- und Kostenvorteile realisiert werden.

Der folgende Beitrag wird zeigen, welche Möglichkeiten die Gießsimulation heute bietet und wir die Qualität von Gussteilen nachhaltig verbessert werden kann. Darüber hinaus soll auch gezeigt werden welchen Beitrag die Gießsimulation heute und in Zukunft für eine effektivere Produktentwicklung leisten kann und wird.

2. Klassische Einsatzgebiete der Gießsimulation - Formfüllung und Bauteilerstarrung

Bei den klassischen Anwendungsfällen der Gießsimulation liegt der Fokus auf dem Fertigungsprozess und dessen Optimierung. Beispiele hierfür sind:

- Prüfung der Herstellbarkeit eines Bauteils in einem speziellen Gießverfahren
- Auswahl eines optimalen Verfahrens für ein definiertes Anforderungsprofil
- Design und Auslegung des Einguss- und Speisersystems

- Festlegung und Optimierung der Prozessparameter unter Berücksichtigung von qualitativen und wirtschaftlichen Aspekten
- Optimierung der Gussteilgeometrie (fertigungsgerecht)

Modifikationen der Bauteilgeometrie dienen dem Zweck, die Fertigungsgerechtheit eines Gussteils herzustellen oder zu verbessern.

2.1. Formfüllung

Die Grundlage für die finale Qualität eines Gussteils wird bereits beim Einfüllen der Schmelze in den Formholraum gelegt.

Legierungen mit hoher Sauerstoffaffinität, wie z.B. Aluminium-Basis-Legierungen, können bei der Formfüllung durch eine überdurchschnittliche Oxidbildung verunreinigt werden. Solche Effekte treten immer auf beim Kontakt zwischen Schmelze und Atmosphäre, verstärkt jedoch bei sehr turbulenten Füllvorgängen bzw. hohen Strömungsgeschwindigkeiten. Oxide können direkt zu Gußfehlern führen, wenn sie z.B. einen vollständigen Werkstoffverbund verhindern. Es gibt jedoch auch eine indirekte Wirkung auf das Speisungsvermögen der Schmelze während der Bauteilerstarrung.

Neben den Oxiden können Lufteinschlüsse in Form von Blasen oder Verschäumungen (Luft-Oxid-Gemisch) die Qualität der Bauteile maßgebliche verschlechtern. Ursachen hierfür liegen vielfach in eine unzulänglichen Gestaltung und Dimensionierung des Angußsystems.

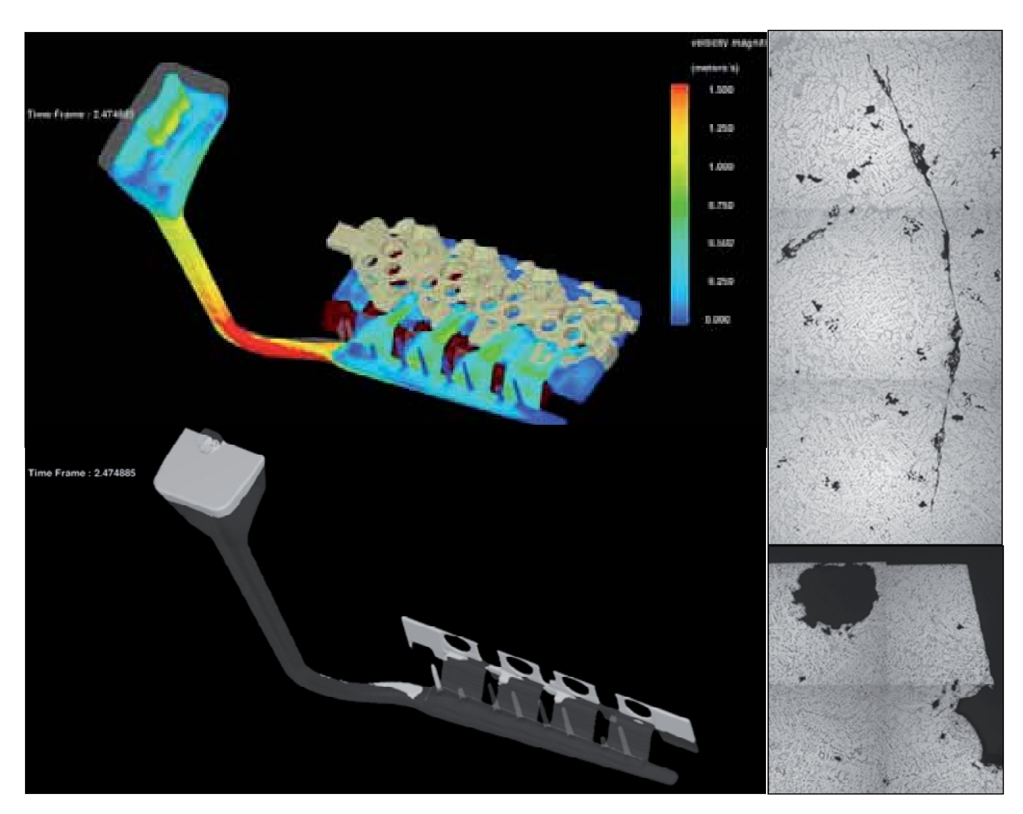


Abbildung 1: Ergebnisse einer Formfüllberechnung: Fließgeschwindigkeit (o.li) und Lufteinschlüsse im Laufsystem (u.li) sowie typische formfüllbedingte Gussfehler: Oxid und Blase (re)

Kühlt die Schmelzefront während des Füllvorganges so stark ab, dass sie teilweise oder vollständig erstarrt, kommt es zu sogenannten Kaltlauffehlern (unvollständiger

Guss). Der Füllvorgang muss so ausgelegt werden, dass eine vollständige Füllung der Formholraums/ des Gussteils gewährleistet ist. Für die Gestaltung des Gussteils bedeutet dies die Einhaltung von verfahrensspezifischen Mindestwandstärken. Das Gießsystem muss kurze Gießzeiten ermöglichen ohne dabei Oxide, Blasen und Verschäumungen zu generieren.

Moderne Simulationssysteme ermöglichen die realitätsnahe Berechnung des Füllverhaltens. Durch die Visualisierung wesentlicher Größen (Fließgeschwindigkeiten, turbulente kinetische Energie, Temperatur, Lufteinschlüsse und - drücke) können bereits frühzeitig kritische Effekte bei der Formfüllung erkannt und ggf. über die Gestaltung des Angußsystems korrigiert werden. Oftmals sind Füllsimulationen die einzige Möglichkeit das Fließverhalten in einer komplexen, geschlossenen Form zu untersuchen.

2.2. Erstarrung

Neben der Füllung des Formhohlraums ist die Erstarrung der Schmelze von wesentlicher Bedeutung für die Qualität eines Gussteils. Zur Erzeugung von fehlerfreien Gussteilen muss die während des Erstarrungsprozesses (Phasenumwandlung flüssig - fest) auftretende Volumenreduzierung ausgeglichen werden. Hier existieren werkstoff- und verfahrensspezifische Besonderheiten. Bei Aluminium-Zylinderköpfen im Schwerkraftguss werden spezielle (äußere) Formelemente benötigt, die währende der Erstarrung ausreichend flüssiges Material bereitstellen. Diese Speiser können nur dann zufriedenstellend wirken, wenn sie die zuletzt erstarrenden Bereiche sind, die Erstarrungsfront durch das Bauteil in Richtung der Speiser verläuft und es innerhalb des Gussteils nicht zu einer vorzeitigen Abschnürung von Speisungswegen kommt. Ist nur eine der drei Bedingungen nicht erfüllt, treten Gussfehler auf.
Eine frühzeitige Abschnürung der Speisung innerhalb des Gussteils führt aufgrund der Volumenschwindung der verbliebenden (Rest-)flüssigkeit zu Materialdefiziten im Bauteil (Lunker, Poren, Einfallstellen).

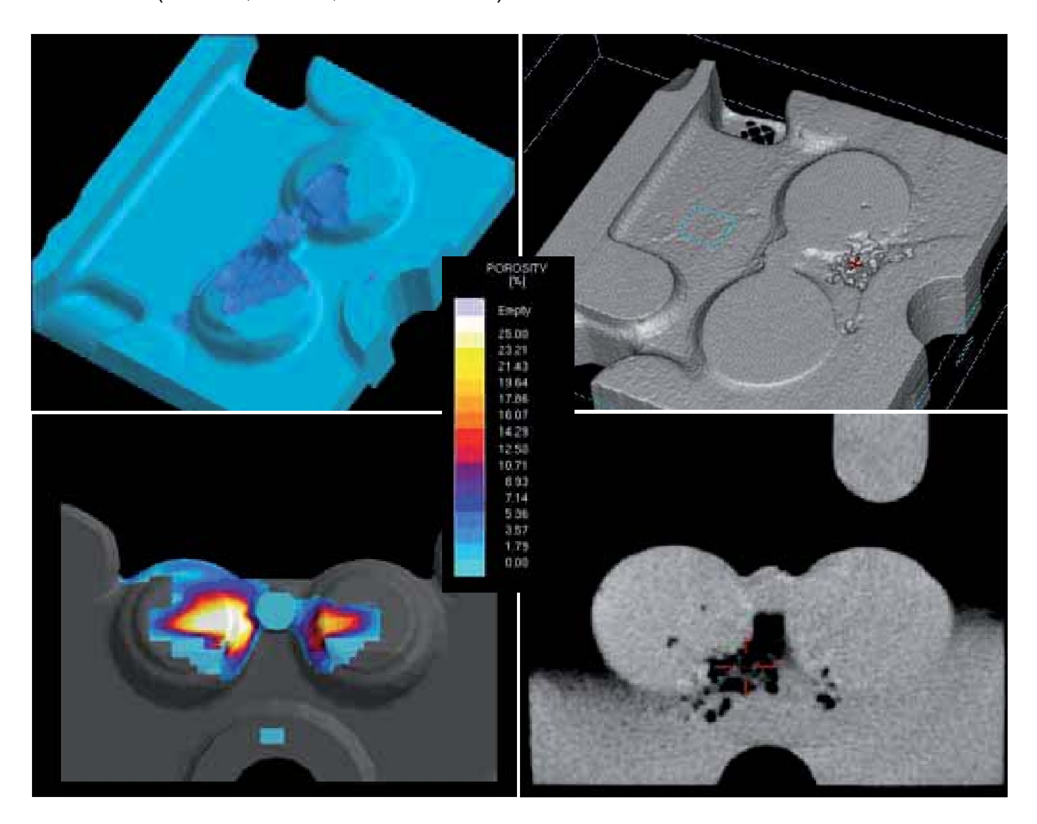


Abbildung 2: erstarrungsbedingte Gussfehler, Vergleich zwischen Simulation und Realität (CT-Scan)

Moderne Simulationssysteme ermöglichen die Berechnung der Bauteilerstarrung auf Basis der durch die Formfüllung erzeugten Temperaturverteilung im Formhohlraum. Dabei garantieren Gießverfahren mit sehr gutem Füllverhalten nicht zwangsläufig eine optimale Bauteilerstarrung. Entscheidend ist der Temperaturgradient im Gussteil und Speiser. Mit Hilfe der Simulationssysteme können speisungsbedingte Gussfehler lokalisieren und quantifiziert werden. Darüberhinaus ermöglicht die Visualisierung des Erstarrungsverlaufes die gezielte Optimierung der Speisungswege.

3. Beitrag der Gießsimulation für eine verbesserte Produktentwicklung - Eigenspannungen, Mikrostruktur und mechanische Eigenschaften

Neben den klassischen prozessorientierten Anwendungsfällen erlauben es heutige Gießsimulationswerkzeuge auch wichtige produktspezifische Eigenschaften, Eigenspannungen und mechanische Kennwerte, zu berechnen.

Ursache für die Entstehung von Eigenspannungen sind unterschiedliche Abkühlbedingungen im Bauteil bei der Erstarrung oder ggf. bei der Wärmebehandlung. Deshalb induzieren alternative Gieß- und Wärmebehandlungsstrategien unterschiedliche Eigenspannungen in Größe und Verteilung.
Die mechanischen Kennwerte werden stark von der Struktur (Feinheit) des Gußgefüges beeinflusst. Diese kann zwar von außen beeinflusst werden (Kornfeinung, Veredelung), aber letztendlich entscheiden die lokalen Abkühlbedingungen bei der Erstarrung über die Gefügestruktur.

Da sowohl die Spannungen, als auch die Kennwerte von den lokalen Abkühlbedingungen abhängen, wird klar, dass in einem gegossenen Bauteil keine konstanten Werte auftreten sondern eine entsprechende Eigenschaftsverteilung vorliegt. Dabei hängen die absoluten Werte und die Bandbreite der Eigenschaften sowohl von der Bauteilgeometrie als auch vom Gießverfahren und der Gießtechnologie ab.

Die Berücksichtigung von verfahrensspezifischen Bauteileigenschaften in frühen Phasen der Produktentwicklung ermöglicht eine bessere Ausnutzung vorhandener Werkstoffeigenschaften. Unterdurchschnittliche Eigenschaften müssen durch Geometrieänderungen kompensiert oder durch gezielte Maßnahmen bzw. alternative Gießverfahren optimiert werden. Überdurchschnittliche Eigenschaften eröffnen die Möglichkeit zum Materialabbau und zur Gewichtsreduzierung.

3.1. Eigenspannungen

Eigenspannungen können für das Gussteil/den Fertigungsprozess und das finale Produkt von Interesse sein.
Gussteil- bzw. Prozessrelevanz ist dann gegeben, wenn sich Eigenspannungen während der Herstellung zu sichtbaren Deformationen des Gussteils führen. Diese Verformungen können geometriebedingt so groß werden, dass die Bauteile maßliche Spezifikationen nicht mehr erfüllen.

Auch in Urformwerkzeugen (Dauerformen) kommt es aufgrund von thermischen Spannungen zu Deformationen, welche die Maßhaltigkeit des Gussteils beeinflussen.
Für das finale Produkt sind vor allem die Eigenspannungen von Bedeutung, die nicht durch Verformungen oder nachfolgende Fertigungsschritte abgebaut werden und die "unsichtbar" im Bauteil verbleiben. Sie können die Gebrauchseigenschaften des finalen Produktes maßgeblich beeinflussen. Eigenspannungen führen beim Einsatz des Bauteils im günstigen Fall dazu, die auftretenden Lastspannungen zu kompensieren. Eine ungünstige Überlagerung der Spannungen kann jedoch andererseits auch zum vorzeitigen Bauteilversagen führen.

Aktuelle Software für die Gießsimulation ermöglicht die Berechnung der bei der Bauteilerstarrung erzeugten Gusseigenspannungen. Darüber hinaus ist es möglich, auch Wärmebehandlungsprozesse zu untersuchen (Abschrecken und Auslagern). Durch einen geeigneten Aufbau des Simulationsmodells kann auch die Spannungsumlagerung infolge der mechanischen Bearbeitung berücksichtigt werden. Sämtliche Ergebnisse (Spannungstensor, Dehnungen) sind auf FE-Netze übertragbar und stehen dann für eine verbesserte Festigkeitsberechnung zur Verfügung.

3.2. Mikrostruktur und mechanische Kennwerte

Neueste Anstrengungen zielen auf die Berechnung der erstarrungsbedingten Gefügestruktur im Bauteil. Charakteristische Gefügemerkmale von untereutektischen Aluminiumlegierungen sind beispielweise der sekundäre Dendritenarmabstand (sDAS), die Art und die Verteilung von Poren, die Ausbildung des Eutektikums oder die Anwesenheit von intermetallischen Phasen. Diese Merkmale werden u.a. durch die bei der Erstarrung wirkenden Abkühlbedingungen beeinflusst. Eine schnelle Abkühlung führt zu sehr feinem Gefüge, eine langsame Abkühlung bewirkt eine gröbere Gefügestruktur.

Die Feinheit des Gefüges entscheidet über die erreichbaren Festigkeitseigenschaften im Werkstoff/Bauteil. Wie bereits bei der Bauteilerstarrung erwähnt, ist zur Vermeidung von Gußfehlern eine Erstarrung in Richtung der Speiser erforderlich. In dieser Richtung ist entsprechend von einer Vergröberung des Gussgefüges und mit einer Abnahme der mechanischen Kennwerten auszugehen.

Zusätzlich zur Eigenspannungsverteilung ist Festigkeitsverteilung im Gussteil eine entscheidende Größe, die bei der Produktentwicklung berücksichtigt werden sollte. Ohne die Kenntnis der Werkstofffestigkeiten sind Aussagen über die Schädlichkeit von Eigenspannungen schwierig. U.U. ermöglichen spezielle Verfahren (Wärmebehandlung) hohe Festigkeiten, gleichzeitig werden jedoch auch hohe Eigenspannungen induziert. Alternative Verfahren erreichen die hohen Festigkeiten nicht, zeichnen sich jedoch durch ein besseres Verhältnis zwischen Festigkeit und Eigenspannungen aus und bieten so ein höheres Potential für die Aufnahme von Lastspannungen.

Während die Berechnung der Mikrostruktur von Gusslegierungen im Gusszustand auf Basis von fundierten Modellen in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht hat, gibt es auf dem Gebiet der Gefügeberechnung nach der Wärmebehandlung noch erheblichen Forschungsbedarf. Verlässliche Simulationsergebnisse sind nur auf Basis von umfangreichen Versuchsreihen möglich. Die daraus abgeleiteten Regressionsfunktionen für die Mikrostruktur und/oder ausgewählte Fertigkeitsgrößen gelten nur für vergleichbare

Bauteilgeometrien und Prozessparameter und können leider nicht verallgemeinert werden. Sie sind daher für die Neuentwicklung von Bauteilen bisher nicht einsetzbar.

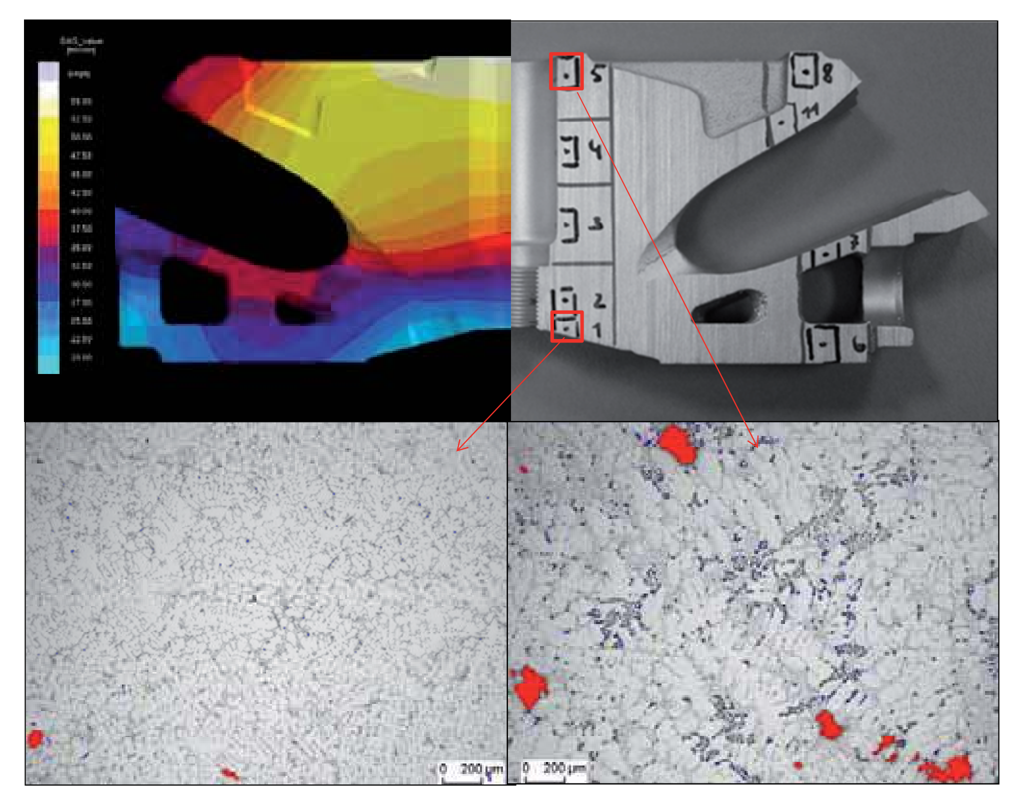


Abbildung 3: simulierte und reale Gefügemerkmale in einem Zylinderkopf (sDAS und Poren)

4. Autor

Dr.-Ing. Alexander Wagner
PDC - Numerische Simulation

NEMAK Wernigerode GmbH
Gießerweg 10
38855 Wernigerode

Telefon: 03943 652 1239
Telefax: 03943 652 1221
E-Mail: alexander.wagner@nemak.com



Digitale Produktentwicklung

Erweiterte Simulation von flexiblen Bauteilen

Dr. Martin Göbel
Dr. Gernot Goebbels
Matthias Fokken
Timo Hambürger
Jens Hedrich

Lebenslauf



Dr. Martin Göbel

Managing Director

fleXilution GmbH
An IC:IDO Group Company
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln

Telefon: 0221 460 207 12
E-Mail: martin.goebel@icido.de

1975-1982	Studium der Informatik an der Technischen Hochschule Darmstadt
1982-1986	Wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Encarnacao an der Technischen Hochschule Darmstadt
1987-1995	Abteilungsleiter im Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung, Darmstadt
1996-2001	Forschungsbereichsleiter in der GMD-IMK, St. Augustin
2001-2004	Competence Center Leiter Virtual Enviroments, FhG-IMK, St. Augustin
2004	Direktor der fleXilution GmbH in Köln

Lebenslauf



Jens Hedrich

Studentischer Mitarbeiter

fleXilution GmbH
An IC:IDO Group Company
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln

Telefon: 0221 460207 0
E-Mail: jens.hedrich@icido.de

24.6.2003	Abitur an der Bismarckschule Hannover
19.12.2006	Vordiplom im Studiengang Computervisualistik an der Universität Koblenz-Landau
1.3.2008	Studentischer Mitarbeiter bei der Firma fleXilution GmbH

Erweiterte Simulation von flexiblen Bauteilen

Jens Hedrich, Matthias Fokken, Timo Hambürger, Dr. Gernot Goebbels, Dr. Martin Göbel

1. Zusammenfassung

In vielen Bereichen der Industrie werden Produkte, bevor sie hergestellt werden, virtuell entworfen und geplant. Neben starren Bauteilen spielen flexible Bauteile wie Kabel und Schläuche eine zunehmende Rolle. Zur realitätsgetreuen Simulation dieser Kabel und Schläuche sind Materialparameter unabdingbar. In der Regel werden diese über Materialvermessungen oder Schätzungen ermittelt. Um diesen Ermittlungsprozess zu verbessern werden in diesem Paper eine Materialdatenbank und ein Material-Composer eingeführt. Die Datenbank beinhaltet alle verfügbaren Informationen über ein Material, von den physikalischen Parametern, die Zusammensetzung, den Aufbau, oder aber auch Metainformationen. Dies bildet die Basis für zukünftige Materialanalysen. Der Material-Composer ermöglicht es, die Materialparameter eines zusammengestellten Bündels anzunähern. Zusätzlich wird eine Abrasions-Erweiterung unserer bewährten echtzeitfähigen Simulation von schlauchähnlichen Objekten präsentiert.

2. Simulationssystem

Zur Simulation von elastischen Bauteilen steht ein echtzeitfähiges Simulationssystem (fleXengine) zur Verfügung [GGH+07]. Mit dem System können ganze Verbände von flexiblen Bauteilen zusammengestellt werden, beispielsweise zu einem Kabelbaum, um diesen anschließend auf seine Einbaufähigkeit in eine Baugruppe zu untersuchen.
Die Berechnungen der fleXengine basieren auf Erkenntnissen aus der Elastizitätstheorie, z. B. auf dem verallgemeinerten Hookeschen Gesetz, welches besagt, dass die wirkende Spannung annähernd proportional zur elastischen Verformung ist. Dieses Gesetz stellt unsere Grundlage zur echtzeitfähigen Simulation von ideal-runden, isotropen Bauteilen dar. Die Simulation erwartet für jedes Bauteil geometrische Charakteristika (Innen-, Außendurchmesser und Länge), sowie physikalische Eigenschaften (Elastizitätsmodul, Poissonzahl und Materialdichte) als Eingabeparameter. Zur Vereinfachung werden die physikalischen Parameter als richtungsunabhängig interpretiert. Die geometrischen Parameter führen zu einem ideal-runden Bauteil; wobei für alle Parameter gilt, dass sie über den Verlauf konstant sind. Dessen ungeachtet können einem flexiblen Bauteil abschnittsweise definierte Materialparameter zugewiesen werden (Multimaterials).
Flexible Bauteile wie ein Kabel, Kabelbündel oder ein Schlauch, sind im Regelfall Aufgrund ihrer komplexen Zusammensetzung anisotrop. In der Planung des Verlaufsweges von solchen Bauteilen steht im Regelfall die Simulation der Biegeeigenschaft eines Materials im Vordergrund. Hierbei kann die Longitudinalrichtung weitgehend vernachlässigt werden. Unter dieser Voraussetzung und der Annahme, dass anisotrope Materialien unter geringen Belastungen ebenfalls einen Hookschen Bereich aufweisen, kann die fleXengine zur Simulation angewendet werden. Diese Annahme konnte empirisch über die bisherigen Validierungsergebnisse bestätigt werden. In dem Validierungsverfahren wird die Simulation mit der Realität verglichen. Hierzu werden anhand eines Laserscanners eingespannte Kabel digitalisiert und in die Simulationsumgebung geladen. Dieser Vorgang wird in [WG08, WSG+08] näher erläutert. Daraufhin wird die Mittellinie aus dem Scan rekonstruiert und mit der Mittellinie aus der Simulation verglichen (Abb. 1). Die Vergleiche zwischen der Realität und der Simulation lieferten im Schnitt einen Fehler von unter einem Prozent.

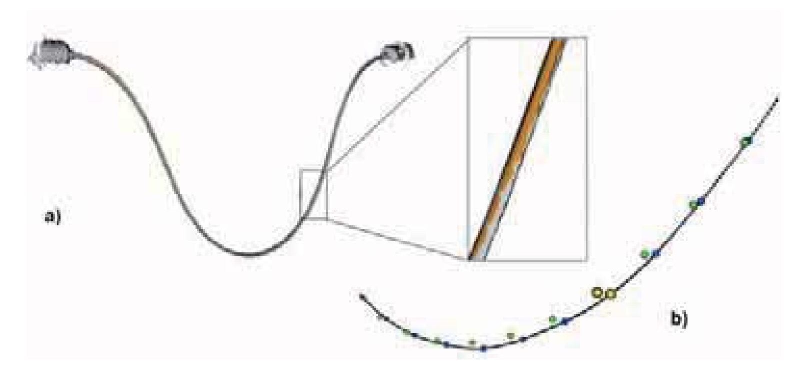


Abbildung 1: Zunächst wird der Formverlauf der digitalisierten Realität und der der Simulation mit den ermittelten Materialparametern überlagert (a). Zur genaueren Analyse wird nun die Mittellinie des Scans mit der Mittellinie der Simulation vergleichen (b).

Im Weiteren geht es um den Ermittlungsprozess von Materialparametern, im Abschnitt 7 folgt die Erweiterung der fleXengine um den abrasiven Verschleiß. Die konsistente Erweiterung der fleXengine um weitere physikalische Moduln und Faktoren geschieht dabei nach dem Top-Down-Prinzip. Durch die Verfeinerung einer Simulation kommen meist unweigerlich weitere Eingabeparameter hinzu.

3. Kennwertermittlung

Wie zuvor beschrieben handelt es sich bei der fleXengine um ein vereinfachtes und somit echtzeitfähiges mathematisches Model zur Simulation von isotropen Stäben und Zylinderrohren. Um eine hinreichende Simulation von Bauteilen zu erreichen, sind plausible Eingabeparameter unabdingbar. In der Praxis werden diese Kennwerte häufig durch Fachpersonal geschätzt oder durch kostenintensive Messverfahren ermittelt. Beispielsweise gibt der Drei-Punkt-Biegeversuch das Elastizitätsmodul in Biegerichtung wieder. Durch die Idealisierung, dass ein flexibles Bauteil stets ideal-rund ist, müssen ggf. bei der Ermittlung der Materialkennwerte die Parameter auf einen Stab oder Zylinderrohr projiziert werden. Dies gilt insbesondere für Kabelbündel, da sie durch ihren Aufbau viele Lufteinschlüsse aufweisen. In Abbildung 2 wird eine solche Projektion veranschaulicht.

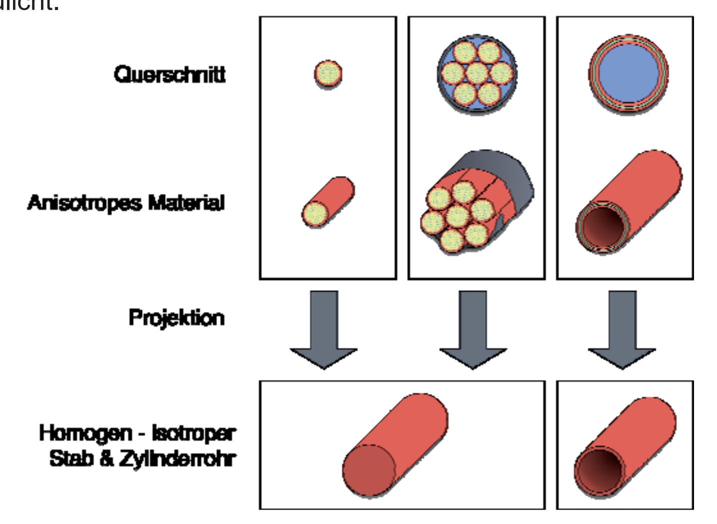


Abbildung 2: Projektion der Materialparameter auf Stab oder Zylinderrohre: Mit der Übergabe der Materialparameter werden diese auf Stab- oder Zylinderrohre projiziert. Je mehr Lufteinschlüsse ein Material aufweist, desto höher ist die Abweichung des eigentlichen Materials zu den physikalischen Werten, die aus standardisierten Messverfahren stammen.

Kabelbündel weisen zudem über den Verlauf in ihren Eigenschaften Ungenauigkeiten auf. Um diese Herstellungsschwankung in der Simulation zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 6.), ist die Ermittlung einer Fehlertoleranz der Materialparameter sinnvoll.

4. Materialverwaltung

Mit steigender Anzahl an Materialvermessungen wird eine Materialverwaltung unvermeidlich. Diese wird aktuell in Form einer Materialdatenbank aufgebaut. In ihr werden alle verfügbaren Informationen zu einem Kabel, Kabelbündel, oder einem Schlauch abgelegt. Neben den Materialkenngrößen werden die Messdaten, der Materialaufbau und die Metainformationen erfasst. Metainformationen sind z.B. übergreifende Informationen, wie Hersteller, Lieferant, Produktidentifikationsnummer, Farbe, oder Herstellungsnormen zu einem Material. Eine solche Verwaltung verhindert teure Doppelvermessungen und stellt eine optimale Grundlage für weiterführenden Materialanalysen dar, beispielsweise für die Bestimmung der Einflussfaktoren unterschiedlicher Wicklungsarten bei Kabelbündeln, oder die Durchmesserschwankungen eines Bündels.

5. Materialberechnung

Um die hohen Vermessungskosten zu minimieren, wurde ein Material-Composer entwickelt. Mit diesem werden unter der Angabe einer Wicklungsart und aus mehreren Einzelkomponenten die projektiven Materialparameter eines Bündels berechnet. Wie auch die Simulation basiert der Material-Composer auf den Gleichungen aus der Elastizitätstheorie.
Das heuristische Verfahren zur Ermittlung der projektiven Materialkennwerte eines Bündels benötigt die Kennwerte der Einzelkomponenten und den Einflussfaktor der verwendeten Wicklungsart. Der Material-Composer erhält diese Informationen über eine Schnittstelle von der Materialverwaltung (Abb. 3).

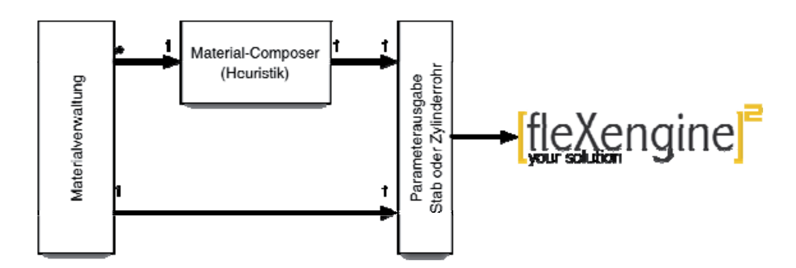


Abbildung 3: Der Material-Composer erhält von der Materialdatenbank alle Materialkenngrößen der Einzelkomponenten die zu einem Bündel komponiert wurden und errechnet anhand des mathematischen Modells die projektiven Kenngrößen eines Bündels.

6. Einsatzmöglichkeiten

Mit der Bereitstellung solcher Werkzeuge, wie der Materialdatenbank oder dem Material-Composer wird der Arbeitsfluss in der praktischen Umsetzung eines virtuellen Prototyps beschleunigt. Durch das Vermeiden von teuren Kabelvermessungen oder der Berechnung von plausiblen Materialkennwerten, kommt es zudem zu einer Kosteneinsparung. Durch den komplexen Aufbau von Kabelbündeln und durch Toleranzen in deren Herstellung können nur stark approximierte Werte berechnet werden. Zu die jeweiligen Parametern gilt es einen Fehlerwert zu ermitteln. Dieser kann dazu verwendet werden, in der Visualisierungsumgebung ein Hüllvolumen aufzubauen. Ein solches Volumen

deckt dabei mehrere Lösungen ab und vermittelt einen Eindruck über alle möglichen Verläufe eines flexiblen Bauteils.
In zukünftigen Untersuchungen soll festgestellt werden, ob durch ein Hüllvolumen bessere Aussagen zu den Positionen von komplexen, anisotropen Materialen gemacht werden können. Dies gilt besonders für Materialien, deren Elastizitätsmodul in Torsionsrichtung um ein vielfaches höher liegt als in Biegerichtung.

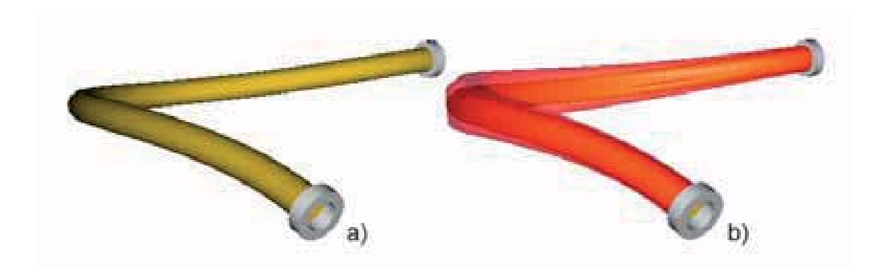


Abbildung 4: Simulation eines Kabelbündels. a) Simulation mit absoluten Werten. b) Simulation und Darstellung eines Hüllvolumens eines Kabelbündels unter Angabe einer Toleranz im Elastizitätsmodul.

7. Simulation vom Verschleiß

Im Folgenden wird die Simulationsengine von elastischen Bauteilen um die Berechnung und Visualisierung von Abrieb erweitert.
Um abrasiven Verschleiß zu simulieren ist ein Verständnis über den physikalischen Vorgang notwendig.
Verschleiß gehört neben Reibung und Schmierung zur Lehre der Tribologie [Rab95]. Die Tribologie beschreibt das Verhalten von wechselwirkenden Oberflächen in relativer Bewegung. Die Kraft, die infolge der Reibung als mechanischer Widerstand gegen eine Relativbewegung auftritt, ist die Reibungskraft.
Verschleiß bezeichnet den fortschreitenden Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers.
Verallgemeinert korreliert der Verschleiß auf dem Reibungskoeffizienten, welcher sich i. A. als Quotient aus der Reibkraft (F_r) und der Normalkraft (F_n) darstellt. Dieser Zusammenhang ist aus dem Gesetz der Coulomb'schen Reibung bekannt.

$$\mu = \frac{F_R}{F_N}$$

Das Verschleißverhalten ist keine Werkstoffeigenschaft, sondern eine Eigenschaft des Reibungssystems. Das System wird durch zahlreiche Eigenschaften beschrieben, z.B. mechanische Eigenschaften der Reibpartner, äußere Reibbedingungen (z. B. Anpressdruck), mikrogeometrische Kenngrößen (z. B. Oberflächencharakteristik), sowie dem Reibwert.
Bei tribologischer Beanspruchung spielt die Kontaktfläche eine wesentliche Rolle, denn die Belastung wird hierüber eingeleitet. Da sich infolge plastischer Deformation, Verschleiß und thermischer Vorgänge die Kontaktflächen während des Betriebs ändern, findet über den Verschleißzeitraum kein gleichmäßiger Verschleiß statt.
Verschleiß äußert sich bei variierenden Werkstoffen sehr unterschiedlich. Grundlegend können folgende Werkstoffgruppen bezüglich ihrer Verschleißcharakteristik unterschieden werden: Metalle, Polymere, Keramik / Glas und Carbone / Graphite.
Kabel und Schläuche bestehen zumeist aus Elastomeren, wobei für Isolierungen von Elektrokabeln oft der Werkstoff PVC aus der Gruppe der Thermoplaste zu finden ist. Das differierende Verschleißverhalten innerhalb der

Werkstoffgruppe Kunststoff erschwert hier generalistische mathematische Beschreibungen. Ein frühes Modell zur Beschreibung des abrasiven Verschleißes von Polymeren wurde durch Ratner et al. [IIF67] aufgestellt. Es gilt:

$$W = k\frac{\mu F_n}{H\sigma\epsilon}$$

mit W = Abtragsvolumen, μ = Reibungskoeffizient, F_n= Normalkraft, H = Härte, σ = Scherfestigkeit, ϵ = Bruchdehnung, k = Verschleißkoeffizient.

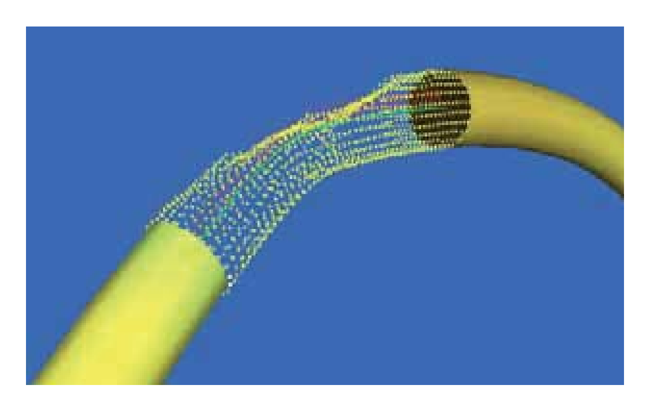


Abbildung 5: Visualisierte Schlauchhülle; an der Schadstelle ersetzt durch Punktwolke, welche sich durch zunehmenden Verschleiß deformiert. Ein abweichender Schlauchverlauf resultiert aus dem örtlichen kumulierten Verschleiß.

Unter Anderem wird auf der Basis des mathematischen Modells nach Ratner et. al. innerhalb der Verschleißsimulation das Verschleißvolumen ermittelt. In diese Berechnungen gehen u. A. die Relativbewegungen der Reibpartner sowie der Anpressdruck ein, je nach Reibungssystem und entsprechend gültigem Modell weitere Material- und Reibsystemeigenschaften. Der Anpressdruck und die Relativbewegungen werden aus der fleXengine abgeleitet. Zusätzlich gibt die fleXengine Aufschluss über die Form des Abdrucks während der Berührung des Kabels oder Schlauchs am Kollisionsobjekt. Eine anschließende Interpolation dieses Abdrucks zwischen den Zeitschritten erlaubt eine quantitative Aussage, welche Stellen am Schlauch mit welcher Intensität durch die Reibung verschlissen wurden. Diese Informationen lassen eine Umrechnung des Verschleißvolumens auf eben diesen gewichteten Abdruck zu (Abb. 5).
Die Ergebnisse über den Verschleiß am Kabel oder Schlauch gelangen zurück in die Simulation der flexiblen Bauteile fleXengine. Dort bewirkt ein formverändernder Schlauchumfang durch zunehmendem Verschleiß eine Verhaltensänderung der fleXengine -Simulation: Das Kabel oder der Schlauch verliert an der Schadstelle an Festigkeit. Eine darauf folgende Formänderung der Komponente kann z. B. bewirken, dass es sich aus einer Reibsituation hinaus dreht - oder noch stärker hinein gerät. Ein Extrapolationsmechanismus bietet darüber hinaus die Möglichkeit, sich in größeren Zeitschritten aber dennoch physikalisch korrekt dem kritischen Punkt des Bauteilversagens zu nähern.



Abbildung 6: Reale Visualisierung des kumulierten Verschleißes am simulierten Schlauch

Verschiedene Visualisierungstechniken ermöglichen die genaue Interpretation des Verschleißes an der flexiblen Komponente. In einer Variante wird die durch den Verschleiß veränderte Oberfläche visualisiert (Abb. 6). Mittels weiterer Variationen kann z.B. der Verschleißverlauf über die Zeit betrachtet werden.

8. Ausblick

Diese Erweiterung basierend auf der Simulation von elastischen Bauteilen mit der fleXengine erlaubt das Beurteilen der mittlerweile immer wichtiger gewordenen Systemeigenschaft Verschleiß. Durch die dabei gewonnen Erkenntnisse können Reibungssysteme bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit verbessert werden, z. B. durch räumliche Umverteilung oder Variation der Werkstoffkombination. Die Qualität der Simulation ist jedoch abhängig von der Korrektheit der verwendeten mathematischen Modelle sowie der Verfügbarkeit von Verschleißsystem-kennwerten.

9. Danksagungen

Die Autoren bedanken sich bei Nils Hornung für die tatkräftige Unterstützung bei der Abfassung des Manuskripts. Die hier vorgestellten Aufgaben wurden im Rahmen des Forschungsprojekts AVILUS (Angewandte virtuelle Technologien im Produkt- und Produktionsmittellebenszyklus, BMBF 01 IM 08 001) durchgeführt.

10. Literatur

[GGH+07] Goebbels, G., M. Göbel, T. Hambürger, N. Hornung, U. Klein, I. Nikitin, O. Rattay, J. Scharping, K. Troche und C. Wienss: Realtime dynamics simulation of cables, hoses and wiring harnesses for high accuracy digital mockups and load analysis. In: Proceedings of the Conference Automotive Power Electronics Paris - Salons de l'Aveyron (APE). Société des Ingénieurs de l' Automobile (SIA). Paris, France, 2007

[WG08] Wienss, Christian und Gernot Goebbels: Kabel- und Schlauchsimulation in der Produktentstehung. In: Proceedings des 7. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, Band 7, Seiten 30□42. Heinz Nixdorf Institut, 2008.

[WSG+08] Wienss, Christian, Julia Scharping, Gernot Goebbels, Igor Nikitin, Stefan Müller und Martin Göbel: Complex Cable Bund le Simulation and Validation in VR. In: 2nd European Symposium on Computer Model ling and Simulation, Band 2. EDAS, 2008.

[Rab95] Rabinowicz, Friction, Friction And Wear Of Materials, Second Edition, John Wiley And Sons, INC, 1995

[IIF67] I. I. Farberova, S. B. Ratner; Zum Einfluss der Zusammensetzung von Plaste auf ihre Verschleißfestigkeit, Soviet plastics / Rubber and plastics research association of Great Britain, S. 64-67, Rubber and Technical Pr.,1967

11. Autoren

Jens Hedrich
Studentischer Mitarbeiter

fleXilution GmbH
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln

Telefon: 0221 460 207 0
Telefax: 0221 460 207 29
E-Mail: jens.hedrich@icido.de

Matthias Fokken

fleXilution GmbH
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln

Telefon: 0221 460 207 0
Telefax: 0221 460 207 29
E-Mail: matthias.fokken@icido.de

Timo Hambürger

fleXilution GmbH
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln

Telefon: 0221 460 207 0
Telefax: 0221 460 207 29
E-Mail: timo.hambuerger@icido.de

Dr. Gernot Goebbels
Managing Director

fleXilution GmbH
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln

Telefon: 0221 460 207 11
Telefax: 0221 460 207 29
E-Mail: gernot.goebbels@icido.de

Dr. Martin Göbel
Managing Director

fleXilution GmbH
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln

Telefon: 0221 460 207 12
Telefax: 0221 460 207 29
E-Mail: martin.goebel@icido.de

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Digitale Prozessentwicklung und Digitale Fabrik

Übereinstimmungsproblematik zwischen der Digitalen und der Realen Fabrik – Potentiale, Herausforderungen und Lösungsansätze

Dipl.-Wirtsch.-Inform. Dirk Richter

Lebenslauf



Dipl.-Wirtsch.-Inform. Dirk Richter

Fakultät für Informatik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg

Telefon: 0531 121 7491
E-Mail: d.-richter@web.de

1996-1999	Besuch des Fachgymnasiums Aschersleben
1999-2000	Absolvierung des Grundwehrdienstes
2000	Immatrikulation zum Wintersemester an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Studiengang Wirtschaftsinformatik
2003-2004	Übernahme einer Hiwi-Stelle als Übungsleiter der Vorlesung: „Einführung in die Datenverarbeitung“
2004-2005	Praktikant bei der Volkswagen AG in Wolfsburg
2005	Diplomand bei der Volkswagen AG in Wolfsburg
2005-2008	Doktorand bei der Volkswagen AG in Wolfsburg
Seit 2008	AUEL EDV-Beratung GmbH, Projektleitung

Übereinstimmungsproblematik zwischen der Digitalen und der Realen Fabrik - Potentiale, Herausforderungen und Lösungsansätze

Dipl.-Wirtsch.-Inform. Dirk Richter

1. Hintergrund

Der Einsatz der Digitalen Fabrik (DF) ist aktuell in der Regel auf Projekte mit gravierenden Änderungen bezüglich der Realität eingeschränkt. Ein Beispiel hierfür stellt der mit großen Investitionen verbundene Umbau der realen Fabrik zur Einführung eines neuen Produktes dar. Da während des laufenden Betriebes die Digitale Fabrik für kleinere Änderungen nur selten zur Anwendung kommt, ist das Entstehen von Unterschieden zwischen der Digitalen und der realen Fabrik vorprogrammiert. Innerhalb des Lebenszyklus einer Produktionsanlage existieren weitere Umstände, welche zu Abweichungen zwischen der DF und der Realität führen können. Hierzu zählen beispielsweise die vom digitalen Planungsstand abweichende Errichtung, bzw. jegliche in der DF nicht dokumentierte Änderungen der Realität.

Infolge von Unterschieden zwischen der Digitalen und der realen Fabrik erhöhen sich die Aufwände, bzw. es ergeben sich Hürden, welche vor einem weiteren Einsatz der DF stehen. Der ganzheitliche Einsatz der DF über einen bzw. mehrere Lebenszyklen einer Produktionsanlage hinaus, ist somit aktuell problematisch. Die Potentiale, welche durch die DF theoretisch ermöglicht werden, können u. a. auf Grund dessen gegenwärtig nicht allumfassend ausgeschöpft werden. Zur Abschwächung der dargestellten Übereinstimmungsproblematik sind sowohl Möglichkeiten zur Reduktion von Unterschieden, als auch Verfahren zum Abgleich zwischen der Digitalen und der realen Fabrik zu evaluieren. Im Weiteren wird die Übereinstimmungsproblematik mit der Einschränkung auf Geometriedaten diskutiert.

2. Potentiale

Potentiale, welche durch das Lösen der Übereinstimmungsproblematik zu ermöglichen sind, werden im Folgenden unter den Kontexten: „Ziele“, „empirisch ermittelte Nutzeneffekte“ und „Methoden, Werkzeuge, sowie Benutzerschnittstellen“ der DF diskutiert.

Die VDI-Richtlinie 4499 zeigt explizit fünf Ziele der DF auf, von denen drei durch das Lösen der Übereinstimmungsproblematik positiv beeinflusst werden könnten, hierzu zählen die Wirtschaftlichkeit, die Qualität, sowie der Wissenserwerb und -erhalt [VDI06].

Die expliziten Auswirkungen, welche durch das Lösen der Übereinstimmungsproblematik in Bezug auf diese Ziele zu ermöglichen sind, werden folgend erläutert. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit, würde eine systematische Verbindung der nicht zu vermeidenden redundanten Datenhaltung innerhalb der DF und der Realität zu positiven Auswirkungen bezüglich der Übereinstimmung zwischen der DF und der Realität, und somit einer aktuellen DF führen. Hierdurch könnte eine weitere Kosten- und Zeitreduktion realisiert werden. Die Auswirkungen hinsichtlich Qualität sind ebenso in der Verbesserung der Aktualität der DF, und somit der Ausgangsdaten der Planung zu sehen. Auf Grund einer hierdurch geschaffenen Qualitätssteigerung der Ausgangsdaten einer Planung, ist eine Erhöhung der Planungsqualität zu erreichen. Die Überführung der innerhalb der DF durchgeführten Planung in

die Realität, und somit der Aufbau von Fertigungsanlagen, gehört prinzipiell nicht zum Themenbereich der Digitalen Fabrik. Aus gesamtheitlicher betriebswirtschftlicher Sichtweise, sollte die Qualität einer Planung allerdings an den realisierten Fertigungsanlagen gemessen werden. Hieraus ergibt sich, dass die Planungsqualität in diesem Zusammenhang nur so gut sein kann, wie es die Qualität der Überführung erlaubt. Die Absicherung der Realisierung einer Planung kann demnach indirekt zur Steigerung der Planungsqualität beitragen, und ist somit beim Lösen der Übereinstimmungsproblematik zu berücksichtigen. Da durch das Lösen der Übereinstimmungsproblematik eine gesicherte Grundlage geschaffen wird, vorhandene Planungsdaten weiter verwenden zu können, ist hierdurch sowohl eine weitere Reduzierung von Planungskosten und -zeit, als auch eine Erhöhung der Planungssicherheit möglich. Die Ziele, welche bezüglich des Wissenserwerb und -erhalt definiert sind, können somit durch eine gesicherte Überführung, der innerhalb der DF realisierten Planung in die Realität und dem stetigen Aktuellhalten der DF, umfassender erreicht werden.

Nach der Diskussion der Auswirkungen des Lösens der Übereinstimmungsproblematik in Bezug auf die Ziele der DF, werden folgend Auswirkungen hinsichtlich empirisch ermittelter Nutzeneffekte analysiert. In einer Studie der CIMdata sind vierzehn Nutzeneffekte erfasst wurden [CIM02]. Von denen werden die folgenden fünf direkt oder indirekt von der Lösung der Übereinstimmungsproblematik positiv beeinflusst. Die Reduzierung der Time-to-Market kann u. a. mittels einer Erhöhung der Planungsqualität aufbauend auf einer verbesserten Datenqualität der DF und einer gesicherten Überführung der DF in die Realität erfolgen. Einsparungen basierend auf Verbesserungen bezüglich der Qualität der Absicherung der Planungsprozesse, können hierdurch ebenso generiert werden. Eine Reduzierung der Gesamtproduktionskosten steht mit den zwei zuvor diskutierten Zielen im Einklang, da u. a. durch einen gesicherten bzw. frühzeitigen Time-to-Market und eine erhöhte Qualität der Planung, Kosten eingespart und Erlöse frühzeitig generiert werden können. Gleiches gilt in Bezug auf Zeiteinsparungen, welche durch die Verkürzung des Produktionsplanungsprozesses zu ermöglichen sind. Aus einer abgesicherten Datenlage, welche für die Planung herangezogen werden kann, ergibt sich eine Reduktion der Planungsfehler, was wiederum die Verringerung notwendiger Konstruktionsänderungen zur Folge hat, und somit weitere Einsparungen ermöglicht.

Innerhalb der DF kommen zahlreiche Methoden, Werkzeuge, sowie Benutzerschnittstellen zum Einsatz, welche bei Zäh nachzulesen sind [ZÄH06]. Durch das Lösen der Überführungsproblematik werden in diesem Zusammenhang zwei Werkzeuge: das Computer Aided Design und die Layoutplanung, sowie eine Benutzerschnittstelle: die Virtual Reality Signifikant positiv beeinflusst. Diese Werkzeuge, sowie die Benutzerschnittstelle spiegeln essentielle Bestandteile der DF dar, was zur Folge hat, dass eine positive Beeinflussung dieser, signifikant positive Auswirkungen auf die DF hätte. Bei den zwei betroffenen Werkzeugen dient die Realität, welche durch die DF im Idealfall zu einhundert Prozent abgebildet wird, als stetig zu berücksichtigende Gegebenheit [SCH99]. Dazu zählen u. a. Säulen, Decken und eventuell realisierte oder aus bestehenden Anlagen übernommene Betriebsmittel. Die Virtual Reality ist eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, welche es ermöglicht, virtuelle Umgebungen als Realität wahrzunehmen [HEN97]. Im vorgestellten Zusammenhang dient diese schwerpunktmäßig der virtuellen Absicherung. Dies reicht von Machbarkeitsuntersuchungen, bis hin zur Überprüfung der gesamten Fertigung unter Berücksichtigung aller in der Realität gegebenen Randbedingungen. Die Ergebnisse des Einsatzes dieser Technologien sind demnach bei der Berücksichtigung real existierender Randbedingungen nur vertrauenswürdig, wenn die hierfür aus der DF herangezogenen Daten die Realität in einem ausreichenden Maße widerspiegeln. Da das Lösen der Übereinstimmungsproblematik genau diesen Umstand garantieren würde, stellt dies eine signifikante Problemstel-

lung dar, welche für das weitere Ausschöpfen von Potentialen der DF unumgänglich ist.

3. Bidirektionaler Datenfluss

Im vorhergehenden Kapitel konnte aufgezeigt werden, dass das Lösen der Übereinstimmungsproblematik für die weitere Steigerung der Potentialausnutzung der DF einen essentiellen Beitrag leisten würde. Zur Definition und Veranschaulichung der Überführungsproblematik ist das in Abbildung 1 aufgezeigte Schema entwickelt wurden. Innerhalb diesen Schemas ist der nötige Datenfluss, welcher zwischen der DF und der realen Fabrik notwendig ist, beispielhaft dargestellt. Neu hierbei ist insbesondere die Unterstützung des Datenflusses aus der DF in die Realität, und somit das Aufzeigen einer benötigten bidirektionalen Unterstützung des Datenflusses zwischen der DF und der Realität.

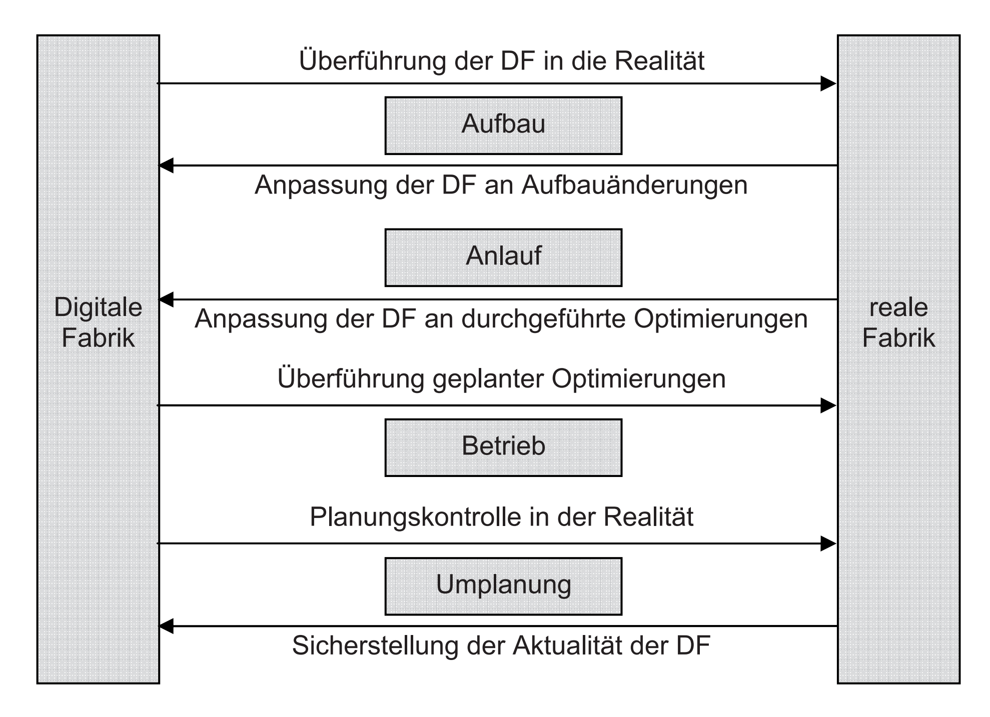


Abbildung 1: Zur Erhöhung der Potentialausschöpfung der Digitalen Fabrik notwendiger bidirektionaler Datenfluss zwischen der Digitalen und der realen Fabrik

Unter Berücksichtigung des in Abbildung 1 dargestellten bidirektionalen Datenflusses zwischen der DF und der Realität, lassen sich in diesem Zusammenhang vier wesentliche Herausforderungen definieren, welche im Umfeld der Übereinstimmungsproblematik bewältigt werden müssen. Im Einzelnen sind dies das Erzeugen von belastbaren Planungsdaten innerhalb der DF, die unterstützte Datenüberführung von der DF in die Realität, die frühzeitige Erkennung von Überführungsfehlern und die frühzeitige Erkennung von Planungsfehlern. Damit eine Bewertung technischer Lösungen hinsichtlich der zuvor definierten Herausforderungen möglich ist, sind aus diesen geeignete Parameter abzuleiten. Hierfür sind die Herausforderungen im Vorfeld näher zu analysieren.

4. Herausforderungen

Ziel der Erzeugung belastbarer Planungsdaten ist es, die DF an die aktuelle Realität anzupassen. Motivation für diese Anpassung, ist eine Datenbasis zur Planung zu generieren, welche Planungsfehler basierend auf falschen oder unzureichenden

Ausgangsdaten weitestgehend ausschließt. Diese Aktualisierungen finden in der Regel am Ende des Anlagenlebenszyklus statt. In dieser Phase befindet sich eine Fertigungsanlage in einem standardisierten Fertigungsprozess und unterliegt somit in der Regel keinen Änderungen bzw. Anpassungen. Hieraus lässt sich ableiten, dass die Aufnahme der Realität und die Generierung des eigentlichen Abgleichergebnisses in Hinsicht auf die hierfür benötigte Zeitspanne, als unkritisch einzustufen sind. Als Grundlage des Abgleichs werden bei dieser Aufgabenstellung die aktuellen Daten der DF herangezogen. Diese können sowohl in ihrer Aktualität, als auch in ihrer Qualität stark variieren. Die Datenqualität kann hierbei in Form von wenig detaillierten 2D-Zeichnungen, bis hin zu sehr umfassenden 3D-CAD-Modellen vorliegen. Unter Datenaktualität ist in diesem Zusammenhang die Informationslage bezüglich der Abweichungen zwischen der DF und der Realität zu verstehen. Die beiden Extreme in diesem Zusammenhang sind vereinzelte Abweichungen, welche lokal eingegrenzt werden können und umfassende Abweichungen ohne örtliche Zuordnung. Je nach in der Planung akzeptierter Toleranzen, können sich für das Aktualisieren der DF verschiedene Genauigkeitsanforderungen ergeben.

Bei der Herausforderung der Unterstützung der Datenüberführung, steht die möglichst gesicherte Überführung der Planung von der DF in die Realität im Vordergrund. Diese Herausforderung ist demnach zeitlich innerhalb der Umbau- bzw. Aufbauphase einer Anlage anzusiedeln. In dieser Phase des Lebenszyklus ist eine Fertigungsanlage permanenten Änderungen unterlegen. Somit lässt sich ableiten, dass die Unterstützung in Hinsicht auf die hierfür benötigte Zeitspanne, als sehr kritisch einzustufen ist. Sie muss unmittelbar zur Überführungsaufgabe erfolgen. Das Ziel dieser Herausforderung ist es, die Überführung der DF so zu unterstützen, dass hierdurch eine Minimierung der entstehenden Überführungsfehler ermöglicht wird. Als Grundlage der Unterstützung werden bei dieser Aufgabenstellung die aktuellen Daten der DF herangezogen. Auf Grund der Durchführung der Planungsaufgabe im Konzept der DF, sollte die verfügbare Datenqualität aktuell in detaillierten 3D- CAD-Modellen vorliegen. In Hinblick auf die Datenaktualität, stellen diese den aktuellen Soll-Zustand der Realität dar, und sind somit unter Berücksichtigung gegebener Toleranzen, so präzise wie möglich in die Realität umzusetzen. Wie in der zuvor dargestellten Herausforderung, ergeben sich in Abhängigkeit von den akzeptierten Toleranzen, Anforderungen an die Genauigkeit bezüglich der technischen Unterstützung dieser Herausforderung.

Während der Überführung digitaler Planungsdaten in die Realität, kann es aus den unterschiedlichsten Gründen zu Fehlern kommen. Um negative Auswirkungen derartiger Fehler zu minimieren, ist ein zeitnahes Reagieren auf diese notwendig. Das Ziel der frühzeitigen Erkennung von Überführungsfehlern ist es demnach, Abweichungen zwischen der DF und der Realität, welche sich während des Aufbaus ergeben, möglichst zeitnah zu erkennen, und somit die negativen Auswirkungen entstandener Überführungsfehler zu verringern. Diese Herausforderung muss folglich wie die zuvor dargestellte direkt während der Überführung der Planung in die Realität umgesetzt werden. Wie vorhergehend dargestellt, ist die Realität innerhalb dieser Phase des Lebenszyklus durch permanente Veränderungen geprägt. Es lässt sich somit ableiten, dass diese Aufgabe in Hinsicht auf die hierfür zur Verfügung stehenden Zeitspanne, als sehr kritisch einzustufen ist. In Bezug auf die geforderte Genauigkeit, die Datenaktualität und die Datenqualität gilt Analoges zur Herausforderung der Unterstützung der Datenüberführung.

Trotz aller Möglichkeiten, welche durch die Nutzung der DF gegeben sind, kann es zu Fehlern innerhalb der Planung kommen. Beispielsweise ist eine absolute Datensicherheit der DF in Bezug auf die Realität aktuell unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zu gewährleisten. Um die negative Auswirkung derartiger Fehler möglichst gering zu halten, ist eine frühzeitige Erkennung entstandener Planungsfehler notwendig. Da während der Errichtung einer Fertigungsanlage sich

diese in einem stetigen Änderungsprozess befindet, ist eine Kontrolle der DF innerhalb der Realität, und somit das Erkennen von Problemstellen möglichst kontinuierlich während des Errichtungsprozesses durchzuführen. Die Motivation zur Lösung der Herausforderung der frühzeitigen Erkennung von Planungsfehlern liegt demnach im abgesicherten Umgang mit Planungsfehlern. Da diese Aufgabe vergleichend zu den beiden im Vorfeld analysierten Herausforderungen direkt während der Bauphase einer Fertigung umgesetzt werden muss, gilt in Bezug auf die Zeitspanne, die geforderte Genauigkeit, die Datenaktualität und die Datenqualität Analoges.

5. Lösungsansätze

Die Analyse der Technologie des Laserscanning zur Lösung der zuvor dargestellten Herausforderungen hat ergeben, dass dieses Verfahren zum Erzeugen belastbarer Planungsdaten umfassend einsetzbar ist. Es bietet auf Grund unterschiedlicher Nutzungsmöglichkeiten der erzeugten Punktewolken, die Handhabe auf unterschiedliche Datenaktualität und Datenqualität zu reagieren. Schwächen, welche bei der Lösung der drei weiteren diskutierten Herausforderungen zum Tragen kommen, spielen hierbei keine Rolle. Die Eignung des Laserscanning für die drei weiteren Herausforderungen, muss nach der Analyse als unbefriedigend eingestuft werden. Als essentiell wichtig ist hierbei die Feststellung der unmöglichen Unterstützung von zwei der vier Herausforderungen festzuhalten, dem frühzeitigen Erkennen von Planungsfehlern und dem Unterstützen der Datenüberführung. Der Grund hierfür ist vor allem die fehlende Möglichkeit einer Unterstützung der Informationsübertragung von der DF in die Realität. Die letzte zu analysierende Herausforderung, das frühzeitige Erkennen von Überführungsfehlern, kann unter gewissen Einschränkungen von dieser Technologie gelöst werden. Zu berücksichtigen ist, dass mit dieser Technologie keine unmittelbare Erzeugung von Untersuchungsergebnissen möglich ist, zeitkritische Aussagen können jedoch unter Berücksichtigung der folgenden Einschränkung realisiert werden. Es ist zu beachten, dass die hierfür nutzbaren Möglichkeiten der erzeugten Punktwolken, keinen einhundertprozentigen Abgleich zulassen, sondern eine manuelle Suche nach Abweichungen notwendig ist.

Da der Einsatz des Laserscanning den Untersuchungsergebnissen nach, nicht zur allumfassenden Lösung der Übereinstimmungsproblematik dienen kann, ist nach alternativen Lösungsmöglichkeiten zu suchen. Im Themengebiet der Augemented Reality (AR) existieren Veröffentlichungen, welche dem beschriebenen Anwendungsbereich zuzuordnen sind [PEN07, DOI03b]. Innerhalb dieser, wird die AR für den Abgleich der DF mit der Realität prototypisch eingesetzt. Ein gesamtheitliches Konzept für einen bidirektionalen Datenfluss ist in der Literatur aktuell jedoch nicht existent.

Innerhalb einer Analyse des Einsatzpotentials der AR, hat sich die potentielle Eignung dieser Technologie zur ganzheitlichen Lösung der Übereinstimmungsproblematik bestätigt. Im Vergleich zum Laserscanning, ist bei der Erzeugung belastbarer Planungsdaten der Einsatz der AR nur unter gewissen Voraussetzungen bezüglich der verfügbaren Datenqualität und -aktualität sinnvoll. Wenn diese Voraussetzungen unzureichend erfüllt sind, dann sollte für diese Herausforderung das Laserscanning eingesetzt werden. Bei der potentiellen Lösung der drei weiteren Herausforderungen, wird das Laserscanning von der AR dominiert, wobei der Einsatz der AR bei den Herausforderungen zur frühzeitigen Erkennung von Planungsfehlern und der Unterstützung der Datenüberführung, eine technische Lösung überhaupt erst ermöglicht.

Eine Analyse der AR verdeutlichte, dass der Systemaufbau, welcher aktuell im industriellen Umfeld einsetzbar ist, vor allem durch den Einsatz eines auf optischen

Markern basierenden Tracking-Verfahrens die folgenden essentiellen Schwächen aufweist. Das Referenzieren der Marker zu einem gegebenen Koordinatensystem, welches nur über wenige örtlich weit auseinander liegende Referenzpunkte verfügt, ist aktuell problematisch. Genauigkeitsanforderungen, wie sie im vorgestellten Anwendungsbereich verlangt werden, sind hierbei in der Regel nicht gesichert zu erreichen. Ein Beispiel für das Auftreten einer derartigen Problematik, stellt üblicherweise die Referenzierung bezüglich eines Hallenkoordinatensystem dar. Als weitere Schwäche sind dessen zahlreiche Ursachen, welche zum Entstehen von inkongruenten Überlagerungen führen können, zu nennen [MET09]. Verstärkt wird diese Problematik durch den Umstand, dass mit den aktuellen Systemaufbauten keine direkte Bestimmung von Genauigkeitsaussagen möglich ist, sondern diese nur prognostiziert werden können. Auf Grund der analysierten Schwächen, ist der Einsatz im zu untersuchenden Anwendungsgebiet aktuell AR-Experten vorbehalten. Unter Berücksichtigung der hauptsächlichen Anwendung bei zeitkritischen Aufgabenstellungen, ist eine hierdurch notwendige Kommunikation zwischen dem eigentlichen Endnutzer und dem Anwender der Technologie problematisch. Grund hierfür ist u. a. der notwendige Wissensübergang zwischen dem AR-Experten und dem Experten bezüglich des Anlagenaufbaus bzw. dem eigentlichen Nutzer der Ergebnisse.
Als Fazit ist festzuhalten, dass wenn es gelingt die aufgezeigten Schwächen, der aktuell im industriellen Umfeld einsetzbaren AR-Systeme zu eliminieren, die AR einen essentiellen Beitrag zur Lösung der Übereinstimmungsproblematik leisten kann.

6. Literatur

CIMdata: The Benefits of Digital Manufacturing. White Paper 2002, http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/ftmsc/content_store/dmm-site/context/dig_mfg_ben_wp.pdf. 09/2008.

[DOI03b] Doil, F.; Schreiber, W.; Alt, T.; Patron, C.: Augmented Reality for manufacturing planning. In: 7. International Immersive Projection Technologies Workshop, Zürich 2003.

[HEN97] Henning, A.: Die andere Wirklichkeit. Virtual Reality – Konzepte, Standards, Lösungen. Bonn 1997.

[MET09] Metaio GmbH: Einflussfaktoren für eine inkongruente Überlagerung bei der Anwendung des Markertrackings. internes Dokument. München 2009.

[PEN07] Pentenrieder, K.; Bade, C.; Doil, F.; Meier, P.: Augmented Reality-based factory planning – an application tailored to industrial needs. In: Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), Nara 2007.

[SCH99] Schöttner, J.: Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie. München 1999.

[VDI06] VDI-Richtlinie 4499, Blatt 1: Digitale Fabrik – Grundlagen. Düsseldorf 2006.

[ZÄH06] Zäh, M.; Schack, R.: Methodik zur Skalierung der Digitalen Fabrik. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZwF) 101 (2006) 1-2, S. 11-14.

7. Autor

Dipl.-Wirtsch.-Inform. Dirk Richter

Fakultät für Informatik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg

Telefon: 0531 121 7491
E-Mail: d.-richter@web.de

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Digitale Prozessentwicklung und Digitale Fabrik

Umsetzungsstand der Digitalen Fabrik – Ergebnisse einer Umfrage zur Fabrikplanung bei großen deutschen Automobilherstellern

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Andrea Spillner
Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht
Dipl.-Ing. Horst Röhl

Lebenslauf



Dipl. Wirtsch.-Ing. Andrea Spillner

Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Technische Universität Clausthal
Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit
Anlagenprojektierung und Materialflusslogistik
Leibnizstraße 32
38678 Clausthal-Zellerfeld

Telefon: 05323 723733
E-Mail: andrea.spillner@imab.tu-clausthal.de

1998	Abitur am Ernst-Moritz-Arndt Gymnasium Herzberg
1998 - 2006	Studium des Wirtschaftsingenieurwesens an der TU Clausthal mit der Vertiefungsrichtung Produktion und Prozesse
seit Oktober 2006	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit.

Lebenslauf



Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht

Institutsleiter

Technische Universität Clausthal
Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit
Anlagenprojektierung und Materialflusslogistik
Leibnizstraße 32
38678 Clausthal-Zellerfeld

Telefon: 05323 722201
E-Mail: uwe.bracht@imab.tu-clausthal.de

1977	Abschluss Studium Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Produktionstechnik an der Universität Hannover
1978-1984	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fabrikanlagen und Logistik der Uni Hannover
1984	Promotion „Rechnergestützte Fabrikplanung“ am Institut für Fabrikanlagen und Logistik der Universität Hannover
1984-1996	Verschiedene leitende Funktionen in der Technischen Planung im Werk Bremen der Daimler AG
1996	Ernennung zum Universitäts-Professor, Technische Universität Clausthal
1996-heute	Leiter des Instituts für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit, Professur für Anlagenprojektierung und Materialflusslogistik der TU Clausthal

Lebenslauf



Dipl.-Ing. Horst Röhl

Fachreferent für Systemanalyse
Projektleiter HLS-Entwicklung

Volkswagen AG
Brieffach 1832
38436 Wolfsburg

Telefon: 05361 896-3930
E-Mail: horst.roehl@volkswagen.de

1975	Schulabschluss Abitur
1985	Abschluss des Maschinenbaustudium an der Technischen Universität Braunschweig
1985-heute	Verschiedene Aufgaben im Bereich Software-Entwicklung für Digitale Fabrikplanung und Umweltschutz
seit 2007	Leiter des VDA AK „Digitale Fabrikplanung“ mit den OEM-Mitgliedern:

AUDI	(Fr. Amthor)
BMW	(Hr. Breu, Dr. Schichtel)
Daimler	(Hr. Csavajda, Hr. Liebig)
Kohlbecker	(Hr. Steiger, Hr. Steiner)
KUKA	(Hr. Schweißhelm)
Opel	(Hr. Fritzsche)
VW	(Hr. Röhl)

Umsetzungsstand der Digitalen Fabrik - Ergebnisse einer Umfrage zur Fabrikplanung bei großen deutschen Automobilherstellern

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Andrea Spillner, Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht, Dipl.-Ing. Horst Röhl

1. Einleitung

Eine Vielzahl von Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik sind bei den Automobilherstellern bereits seit einigen Jahren im Einsatz und werden ständig weiterentwickelt. Ein umfassendes und einheitliches Datenmanagement wird verstärkt angestrebt. Aus diesen Gründen gilt die Automobilindustrie als der wichtigste Vorreiter der Digitalen Fabrik.
Zur Bestimmung des aktuellen Standes, bestehender Schwachstellen sowie zukünftiger Entwicklungsschwerpunkte wurde das Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB) vom VDA-Arbeitskreis "Digitale Fabrikplanung" beauftragt, eine ausführliche Umfrage unter großen deutschen Automobilherstellern durchzuführen. In Zusammenarbeit mit der Leitung und den Mitgliedern des Arbeitskreises wurden relevante Themengebiete identifiziert und dazu detaillierte und zukunftsweisende Fragen ausgearbeitet.
Zur Auswertung der geschlossenen Fragen wurden die Ergebnisse in das Statistikprogramm SPSS überführt (Abbildung 1). Die Auswertung und Darstellung der Befragungsergebnisse erfolgte mittels Definition der dafür nötigen Syntax im SPSS Viewer. Zur grafischen Aufbereitung der Ergebnisse wurden die Diagramme in Microsoft Visio weiterbearbeitet.

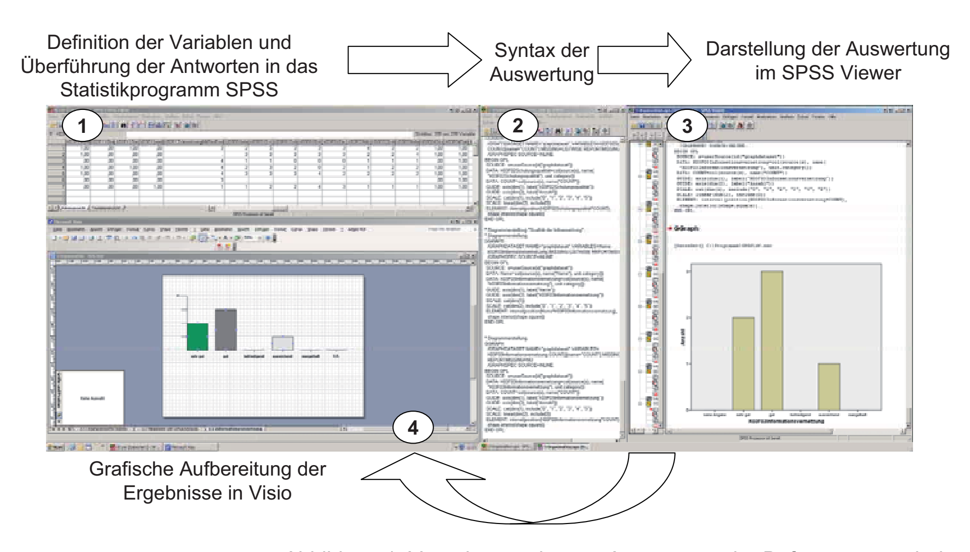


Abbildung 1: Vorgehensweise zur Auswertung der Befragungsergebnisse

Auf Basis der Fragebogenergebnisse fanden zusätzliche ausführliche und individuelle Interviews statt, und es wurden ergänzende Erkenntnisse und Literaturangaben herangezogen, um die Auswertung weiter zu vertiefen. Die Resultate aus wichtigen Themenfeldern sollen in diesem Beitrag vorgestellt werden:

- organisatorische Stärken und Schwächen bei der Einführung,
- Erfahrungswerte und Stand der 3D-CAD Planung sowie
- Nutzenpotenziale und allgemeiner Umsetzungsstand der Digitalen Fabrik.

2. Organisation

Zur Einführung der Digitalen Fabrik bedarf es einer klaren Entscheidung und stetiger Unterstützung der Unternehmensleitung, dies ist bei allen befragten Automobilherstellern eindeutig der Fall. Zur Ermittlung der Qualität in der organisatorischen Umsetzung wurden die OEMs nach individuellen Stärken und Schwächen befragt (Abbildung 2).

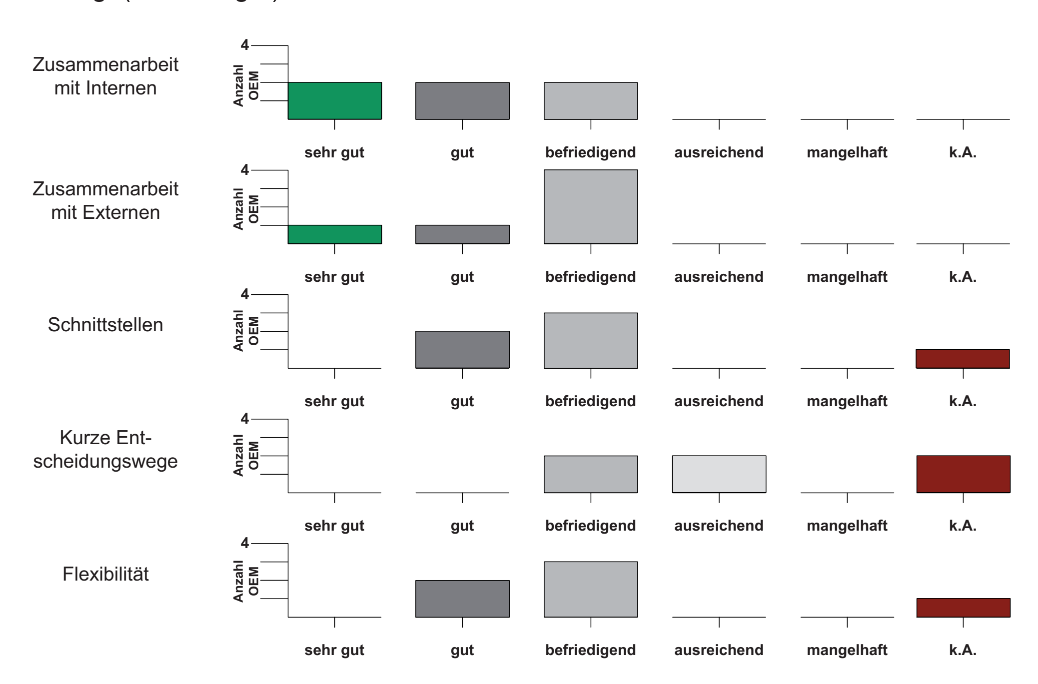


Abbildung 2: Organisatorische Stärken und Schwächen bei der Einführung der Digitalen Fabrikplanung

Dabei wurde die Zusammenarbeit mit internen Stellen von der Mehrzahl der Befragten als gut und die Zusammenarbeit mit Externen als gut bis befriedigend beurteilt. Zur Unterstützung der Kommunikation und besseren Koordination der Planungsbeteiligten kommen häufig Projektmanagementplattformen zum Einsatz. Im internen Bereich haben zudem alle Beteiligten Zugriff auf ein Datenmanagementsystem, in dem zunehmend alle relevanten Planungsdaten abgelegt werden. Diese Online-Nutzung ist für Externe häufig beschränkt oder gar nicht möglich, wodurch es bisweilen zu einer verspäteten Information über Änderungen kommt und somit nicht sichergestellt werden kann, dass diese Partner immer mit aktuellen Daten arbeiten.

Die organisatorischen Schnittstellen sowie die Flexibilität wurden mit gut bis befriedigend bewertet. Eine eindeutige Definition organisatorischer Schnittstellen sowie eine klare Zuweisung von Verantwortlichkeiten im Prozess sind Voraussetzungen für eine durchgängige Nutzung von Workflowmanagementsystemen und stellen somit ein wichtiges Handlungsfeld zur weitergehenden Umsetzung der Digitalen Fabrikplanung dar.

Insgesamt schätzen die Befragten die organisatorischen Entscheidungswege als zu lang ein. Dies ist sicherlich teilweise in der mangelnden Transparenz des gesamten Entscheidungsprozesses sowie in den vielfältigen Abhängigkeiten der einzelnen Planungsfelder begründet. Jedoch gilt es zu beachten, dass eine Beschleunigung der Planungsarbeit nur dann einen Nutzen bringen kann, wenn dieser Zeitvorteil der Gesamtplanung zugutekommt und nicht für längere Abstimmungs- und Entscheidungsprozesse verwendet wird.

3. Einsatz der 3D-CAD Planung

Die 3D-CAD Planung stellt inzwischen ein wichtiges und zukunftsgerichtetes Werkzeug der Digitalen Fabrikplanung dar [1]. Im Rahmen der Befragung konnte ermittelt werden, dass die Erfahrungen in vielen Bereichen als sehr positiv angesehen werden (Abbildung 3). Ein hoher Verbreitungsgrad und die intensive Nutzung von 3D-CAD in einigen Bereichen der Planung spricht zudem für eine hohe Anwenderakzeptanz.

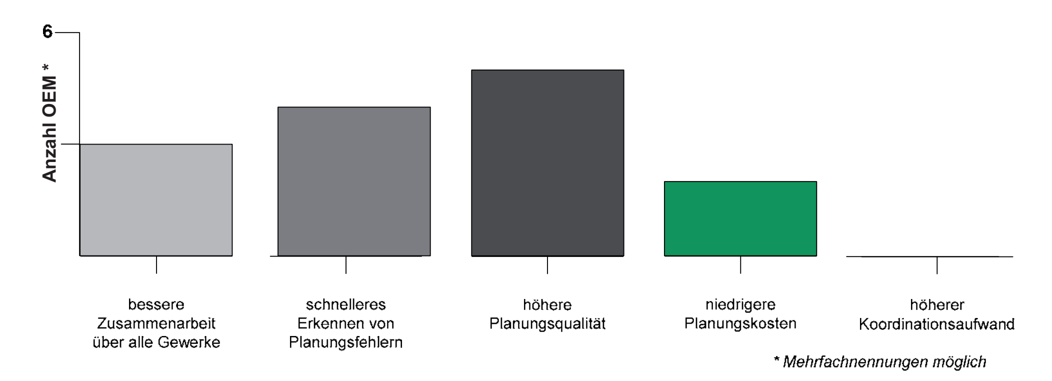


Abbildung 3: Erfahrungen bezüglich des Einsatzes von 3D-CAD in der Fabrikplanung

Die Angaben aus der Praxis weisen der 3D-CAD Planung vor allem eine höhere Planungsqualität sowie das schnellere Erkennen von Planungsfehlern im Vergleich zur 2D-CAD Planung zu. Kollisionen zwischen Planungsbereichen können schon sehr früh in 3D-CAD erkannt und behoben werden. Durch den Aufbau entsprechender Objektbibliotheken sowie intensiver Mitarbeiterqualifikation und -schulung im Umgang mit den dreidimensionalen Werkzeugen konnten die Planungskosten nachhaltig gesenkt werden. Zudem ermöglicht die Visualisierung der Planungsergebnisse eine hohe Transparenz und anschauliche Darstellung auch über Abteilungs- und Unternehmensgrenzen hinaus, wodurch die Zusammenarbeit wesentlich verbessert und die Akzeptanz von Änderungen gesteigert werden kann.
Die Gesamtlayoutplanung hat als wichtiges Planungsfeld der Fabrikplanung einen starken Integrationscharakter, da sie eine Vielzahl von Teilplanungen zusammen führt. So kann dieser Bereich in besonders hohem Maße von einer durchgängigen 3D Planung profitieren. In der Befragung wurde der Anwendungsstand bezüglich der Planung in 2D bzw. 3D ermittelt, wobei die Systematik der Planungsfelder nach Felix [2] als Grundlage herangezogen wurde. In der Untersuchung konnte gezeigt werden, dass der Umsetzungsstand in allen Unternehmen vergleichbar ist, es jedoch unterschiedliche Ausprägungen gibt. Ebenso wie die Planungsqualität ist der Anwendungsstand der 3D Planung wesentlich von der Akzeptanz der Anwender und der Vorbildfunktion sowie der individuellen Einstellung der Vorgesetzten abhängig [3]. Dies soll exemplarisch am Beispiel der Gesamtlayoutplanung dargestellt werden (Abbildung 4).
Bei der Mehrzahl der Befragten erfolgt die Geamtlayoutplanung meist oder vollständig 3D, wobei auch einige angaben, dies komplett 2D oder gemischt sowohl 2D als auch 3D zu planen. In den letzteren Fällen gab es ein Defizit in der 3D Planung der Unterplanungsfelder wie beispielsweise der Gebäude- oder Fördertechnikplanung. Sofern ein wesentlicher Anteil der eingehenden Daten nur zweidimensional vorliegt, kann sich der Nutzen der 3D Planung in der Gesamtlayoutplanung nicht entfalten. Ebenso können dann weitere übergeordnete Planungsfelder wie in diesem Beispiel die Strukturplanung ebenfalls nicht dreidimensional erfolgen.

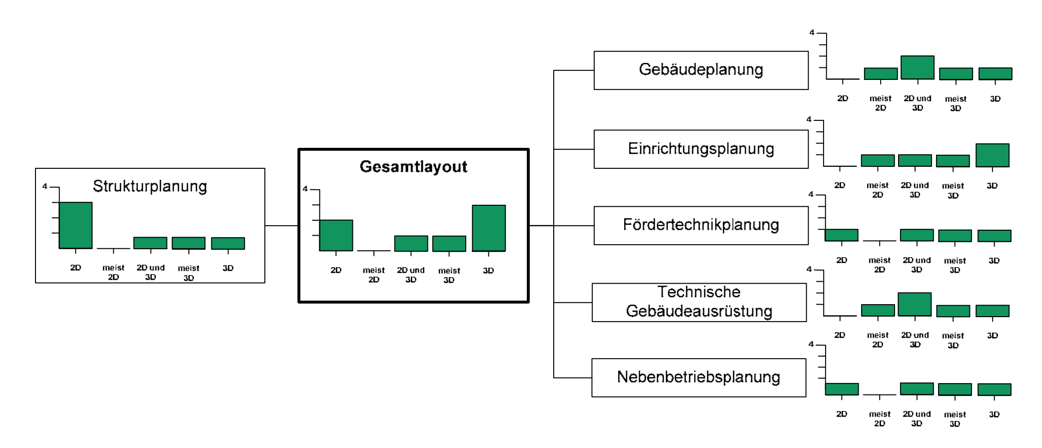


Abbildung 4: Anwendungsstand der 3D-CAD-Planung in den Planungsfeldern um die Gesamtlayoutplanung

Daher ist die durchgängige Planung aller Planungsfelder mit 3D unbedingt notwendig, um weitere Synergiepotenziale zu erschließen, die über die positiven Effekte einzelner Planungsfelder hinausgehen.

4. Nutzen und Umsetzungsstand der Digitalen Fabrik

Bei allen Überlegungen zur Digitalen Fabrik sind natürlich Aussagen zum Nutzen bezüglich Zeit, Kosten und Qualität von ganz besonderer Bedeutung. Im Rahmen einer intensiven weiteren Auswertung und Recherche wurden wesentliche Aussagen zu den Nutzenpotenzialen der Digitalen Fabrik herausgearbeitet (Abbildung 5).

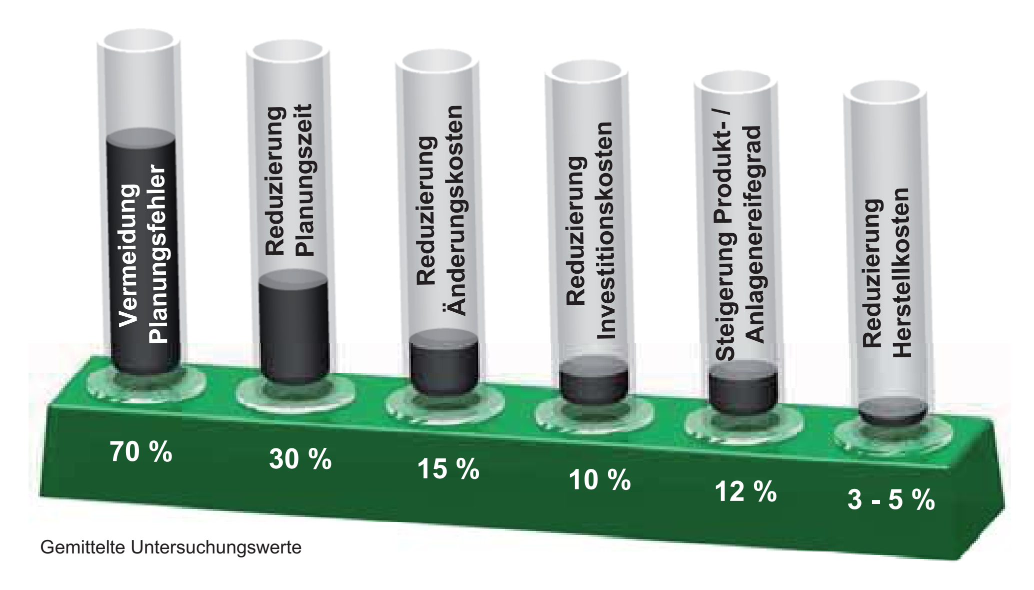


Abbildung 5: Nutzeneffekte der Digitalen Fabrik [4]

Der größte Nutzen der Digitalen Fabrik liegt in der Vermeidung von Planungsfehlern. So werden z. B. Kollisionen zwischen den Planungsgewerken, insbesondere wenn die betrachteten Bereiche in 3D-CAD geplant sind, schnell in regelmäßigen VR-Sitzungen vor der Powerwall sichtbar.
Durch das frühere Erkennen von Fehlern können zudem die Änderungskosten um ca. 15 % gesenkt werden, da die Fehlerbeseitigung in frühen Planungsphasen wesentlich geringere Kosten verursacht.
In fast allen Unternehmen kommen Projektmanagement- und Datenmanagementplattformen zur durchgängigen Unterstützung des Planungsprozesses zum Ein-

satz. Diese, sowie die zunehmende Standardisierung der Prozesse, haben zu einer Reduzierung der Planungszeit um ca. 30 % geführt. Dieser Zeitvorteil kann im Bereich der Fabrikplanung aufgrund vielfältiger Abhängigkeiten häufig nicht direkt umgesetzt werden. Vielmehr wird die zusätzliche Zeit genutzt, um mehr Varianten zu planen und damit die Planungsqualität zu steigern oder um mehrere Projekte in der gleichen Zeit durchzuführen.
Die jetzt mögliche sorgfältige und detaillierte Planung in Varianten erhöht entscheidend die Qualität und den Reifegrad der Planung. Weiterhin führt die intensive und detaillierte Zusammenarbeit zu mehr Transparenz und ermöglicht eine frühzeitige Abschätzung der späteren Investitionskosten, sodass diese schon in frühen Planungsphasen bewertet und beeinflusst werden können.
Während die bisher beschriebenen Nutzeneffekte Auswirkungen auf die Senkung der Kosten für Planung und Sachanlagen haben, lässt sich auch bei den Stückkosten aufgrund der besseren Gesamtplanung ein direkter Nutzen auf das Produkt quantifizieren. Dieser liegt durch die Reduzierung der Herstellkosten im Bereich zwischen 3 und 5 % und stellt absolut - bezogen auf den gesamten Lebenszyklus - die größte Einsparung dar.
In weiteren Auswertungen und Recherchen wurden der Umsetzungsstand der Digitalen Fabrik bezüglich der wesentlichen Handlungsfelder Standardisierung, Datenmanagement, Systemintegration und Workflowmanagement untersucht, sowie die grundsätzlich damit verbundenen Herausforderungen zur weiteren Umsetzung ermittelt (Abbildung 6).

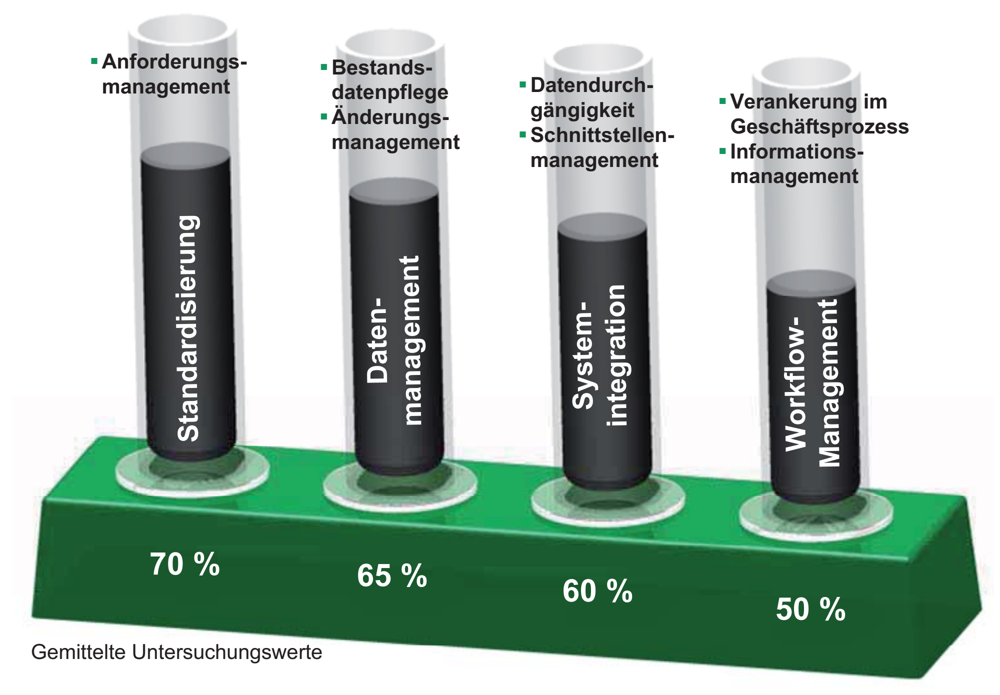


Abbildung 6: Umsetzungsstand und Herausforderungen der Digitalen Fabrik [4]

Im Bereich der Standardisierung z. B. bezogen auf Produkte, Prozesse und Musterlösungen ist der Umsetzungsstand am weitesten fortgeschritten, da diese eine Grundvoraussetzung für die Einführung von IT-Werkzeugen und Methoden darstellt. Zur weiteren Umsetzung gilt es, vor allem das Anforderungsmanagement entschlossener voranzutreiben. Für den gesamten Planungsprozess müssen die Anforderungen für jeden Planungsschritt ermittelt und abgestimmt werden. Erst diese klare Strukturierung ermöglicht eine verbindliche Einführung von Werkzeugen und Methoden.
Im Bereich des Datenmanagements besteht noch ein großer Handlungsbedarf im Änderungsmanagement sowie der Bestandsdatenpflege. Das Änderungsmanagement sollte sicherstellen, dass Planungsänderungen systematisch erfasst, im Da-

tenmanagementsystem gepflegt und alle Betroffenen informiert werden. Erst die Vollständigkeit, Konsistenz und Aktualität aller Daten gewährleistet eine hohe Zeit- und Kostentransparenz und eine qualitativ hochwertige Planung. Bezüglich der Bestandsdatenpflege sollten klare Zuständigkeiten definiert werden. Dies betrifft nicht nur die Planungsdaten, sondern auch die Rückspielung der Betriebsdaten aus der Realität in die digitale Welt. Hier ergibt sich ein Zielkonflikt, da die Pflege der Bestandsdaten häufig im ersten Schritt keinen Nutzen für den Verantwortlichen mit sich bringt. Erst die Verwendung dieser Daten für die Planung liefert den erwünschten Vorteil.
Diese "Durchgängigkeit der Daten" muss auch systemseitig sichergestellt werden. Dabei ist die Umsetzung im Bereich der Systemintegration weniger weit fortgeschritten als beim Datenmanagement. Zur Verbesserung der Systemintegration müssen zunächst noch weitere bestehende Insellösungen integriert werden. Es bedarf einer weitreichenden Abstimmung zwischen Datenmodell und verwendeten Werkzeugen. Dazu gilt es, zwischen den einzelnen Planungsbereichen abgestimmte Softwareschnittstellen zu verwenden, die eine durchgängige Datennutzung ohne hohen Konvertierungsaufwand und mit minimalem Informationsverlust ermöglichen.
Im Bereich des letztendlich angestrebten Einsatzes von Workflowmanagementlösungen ist die Umsetzung am geringsten. Hier sind noch bei vielen Planungsprozessen weitere inhaltliche, systematische und programmierende Vorarbeiten nötig.

5. Zusammenfassung

In vielen Planungsbereichen der Automobilindustrie hat sich die Digitale Fabrik bereits etabliert. Der Nutzen der verwendeten Werkzeuge und Methoden zeigt sich dabei vor allem in einer Steigerung der Planungsqualität. Zudem konnten erhebliche Einsparpotenziale durch die Senkung von Investitions-, Änderungs- und Herstellkosten erzielt werden. Um weitere Nutzeneffekte ausschöpfen zu können, gilt es vor allem die Systemintegration sowie das Workflowmanagement voranzutreiben.
Die Digitale Fabrik erfordert ein langfristiges Durchdenken der Prozesse und Strukturen im Unternehmen und geht daher über die reine Einführung von IT-Werkzeugen weit hinaus. Die Mitarbeiter spielen eine Schlüsselrolle in diesem Konzept, da die damit verbundenen aufbau-, ablauf- und arbeitsorganisatorischen Veränderungen nur erfolgreich gemeistert werden können, wenn sie von möglichst vielen überzeugt angenommen und intensiv gelebt werden.

6. Literatur

[1] Bracht, U., Spillner, A., Reichert J.,2008, Stufenweise Einführung von 3D-CAD- basierter Fabrikplanung im Rahmen der Digitalen Fabrik, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb,103:12 - 16.

[2] Felix, H., 1998, Unternehmens- und Fabrikplanung : Planungsprozesse, Leistungen und Beziehungen, München, Hanser.

[3] Bracht, U., Spillner A., 2008, Die Digitale Fabrik - Grundlagen, In Praxishandbuch Betriebsleiter, WEKA Media.

[4] Bracht, U., Reichert, J., 2009, 17. und 18. Februar, Digitale Fabrik - Stand und neue Entwicklungen, In Tagungsband 5, Euroforum-Jahrestagung Digitale Fabrik, Ingolstadt.

7. Autoren

Dipl. Wirtschaftsing. Andrea Spillner
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Technische Universität Clausthal
Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit
Anlagenprojektierung und Materialflusslogistik
Leibnizstraße 32
38678 Clausthal-Zellerfeld

Telefon: 05323 723733
E-Mail: andrea.spillner@imab.tu-clausthal.de

Prof. Dr.-Ing Uwe Bracht
Leiter des Instituts für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit

Technische Universität Clausthal
Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit
Anlagenprojektierung und Materialflusslogistik
Leibnizstraße 32
38678 Clausthal-Zellerfeld

Telefon: 05323 722201
E-Mail: uwe.bracht@imab.tu-clausthal.de

Dipl.-Ing. Horst Röhl
Fachreferent für Systemanalyse
Projektleiter HLS-Entwicklung

Volkswagen AG
Brieffach 1832
38436 Wolfsburg

Telefon: 05361 896 3930
E-Mail: horst.roehl@volkswagen.de

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Digitale Prozessentwicklung und Digitale Fabrik

Die virtuelle Inbetriebnahme erlangt Industriereife

Dipl.-Ing. Tom-David Graupner

Lebenslauf



Dipl.-Ing. Tom-David Graupner

Client Executive Aerospace

Dassault Systèmes Deutschland AG
Wankelstraße 4
70563 Stuttgart

Telefon: 0711 27300 267
E-Mail: tom-david.graupner@3ds.com

Oktober 1990	Universität Stuttgart, Fachrichtung Maschinenwesen Abschluss: Diplom-Ingenieur
April 1997	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart Gruppenleiter Digitale Fabrik
April 2007	DELMIA GmbH, Fellbach Key Account Manager
April 2009	Dassault Systèmes Deutschland AG, Stuttgart Client Executive Aerospace

Die virtuelle Inbetriebnahme erlangt Industriereife

Dipl.-Ing. Tom-David Graupner

1. 100-jährige Planungstradition

Frederick W. Taylor gilt als der Begründer der wissenschaftlichen Betriebsführung. Nach ihm ist der Taylorismus benannt, dessen Lehre auf genauen Zeit- und Arbeitsstudien der Menschen beruht. Seine Hauptwerke entstanden 1903 „Shop Management“ und 1911 „The Principles of Scientific Management“. Wir blicken daher auf eine über 100-jährige Planungstradition zurück (s. Abbildung 1).

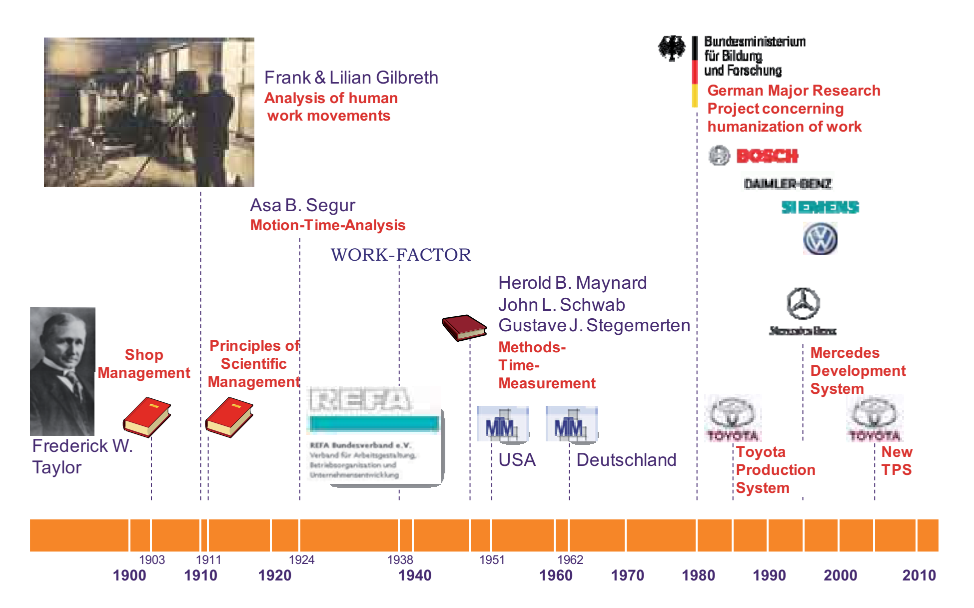


Abbildung 1: 100 Jahre Planungstradition.

Seit 1981 bietet Dassault Systèmes Lösungen zur virtuellen Produktentwicklung (CATIA) an. 2001 wurden die Fertigungsplanungslösungen unter der Marke DELMIA vereint. Im Jahr 2005 wurde SIMULIA zur FEM-Simulation akquiriert. Heute runden Lösungen zur Erstellung von Arbeitsanweisungen (3DVIA Composer) sowie Lösungen zur virtuellen Inbetriebnahme (DELMIA Automation) das Portfolio ab. Im Februar 2009 erwarb Dassault Systèmes Anteile eines führenden MES-Systems (Intercim). Durch diesen Zukauf schließt sich die Prozesskette von der digitalen Entwicklung und Bauteilsimulation über die Fertigungsplanung bis hin zur Produktionsplanung (s. Abbildung 2).

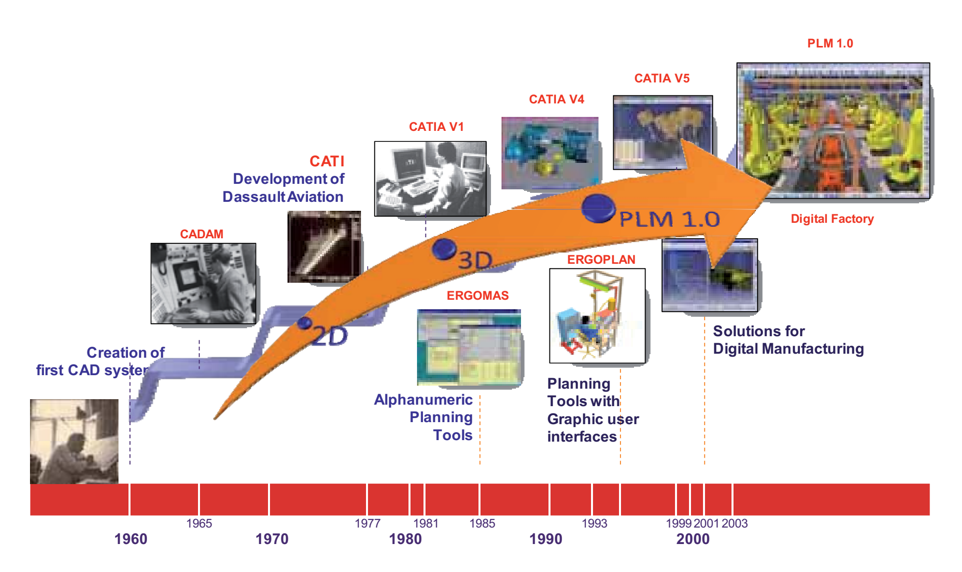


Abbildung 2: 40 Jahre Softwareentwicklung.

2. Die PLM 2.0-Strategie von Dassault Systèmes

2.1. Vom Web 2.0 zum PLM 2.0

Die Industrie erfährt seit mehreren Jahren einen grundlegenden Wandel von der national orientierten Industriegesellschaft in die global operierende Informations- und Wissensgesellschaft. Dieser Wandel macht ein Überdenken bisheriger Konzepte und grundsätzlicher Gesetzmäßigkeiten notwendig. Die Antwort von Dassault Systèmes hierauf lautet: PLM[1] 2.0.

So wie Web 2.0 mit sozialen Netzwerken, Blogs, Video- und Bild-Portalen davon lebt, dass viele zu einer Sammlung beitragen und gemeinsam etwas Größeres schaffen, will Dassault Systèmes mit PLM 2.0 die im Produktlebenszyklus anfallenden Daten allen Berechtigten transparent online verfügbar machen. PLM 2.0 setzt somit die Versprechungen von Web 2.0 für geschäftliche Anwendungen um. Mit der neuen Version V6 wird das neue Planungsparadigma – Internetbasiertes globales Engineering – unterstützt.

Die Vorteile: Statt wie bisher sequenziell an der Entwicklung, der Produktionsplanung und -absicherung zu arbeiten, können die Beteiligten aller Bereiche – unabhängig von ihrer geografischen Lage – online via Internet oder Extranet zusammenarbeiten. Statt der früher gelebten Praxis der asynchronen Vernetzung via E-Mail und FTP-Server, arbeiten zukünftig alle Beteiligten direkt auf demselben zentralen Planungssystem. So wird sichergestellt, dass alle Beteiligten stets über aktuelle Daten verfügen.

2.2. Internetbasiertes globales Engineering

Die Digitalisierung der Wertschöpfung basiert auf digitalen Produkt-, Prozess- und Ressourcenmodellen. Die zunehmende horizontale und vertikale Verbreitung und

[1] PLM (Abk. für Product Lifecycle Management), englisch für Produktlebenszyklusmanagement.

Vernetzung dieser digitalen Modelle schafft ständig neue Möglichkeiten, um PLM-Dienstleistungen in der Informations- und Wissensgesellschaft zu erbringen.

Das ist zunächst nichts Neues: Die Überprüfung von Zugänglichkeiten, die Roboterbahnsimulationen sowie die Erstellung von Offlineprogrammen ist z. B. im Karosserierohbau seit mehr als einem Jahrzehnt eine etablierte Dienstleistung. Diese wird zunächst ausschließlich virtuell, d. h. ohne Vorhandensein der physischen Fahrzeuge oder Roboterhardware, erbracht wird.

Die heute verfügbaren Übertragungsbandbreiten und IT-Systeme machen es allerdings heute möglich, dass solche Dienstleistungen global erbracht werden. Die Informationstechnik hat die Ausgangsvoraussetzungen geschaffen, um eine globale Arbeitsteilung zu ermöglichen, die sich an den Kernkompetenzen der Beteiligten – aber auch an globalen Kostenstrukturen orientieren.

3. Die virtuelle Inbetriebnahme

3.1. Design und Fertigungsplanung

Produkte werden heute vorwiegend in 3D-CAD-Systemen entworfen; die erforderlichen Produktionssysteme ebenfalls. Ausgehend vom Produkt und dessen Einzelteilen kann der gesamte Planungsprozess für jeden Fertigungs-, Bearbeitungs- und Montageschritt rechnergestützt erfolgen. Zusätzlich können Materialfluss oder manuelle Eingriffe durch Anlagenpersonal betrachtet werden. Die Fertigung läuft also bereits virtuell, lange bevor eine reale Maschine gebaut und in Betrieb genommen wird.

Fehler in der Planung können so erkannt und korrigiert werden, ohne dass reale Anlagen umgebaut werden müssen. Produktdesigner, Fertigungsplaner, Fabrikplaner und Logistiker arbeiten eng zusammen, decken Schwachstellen auf und nutzen Optimierungsmöglichkeiten, lange bevor reale Anlagen errichtet werden. Auswirkungen von Änderungen am Design eines Produktes auf die Fertigung lassen sich vorab analysieren und rechnergestützt testen.

3.2. Konventionelle Inbetriebnahme

Bei der konventionellen Inbetriebnahme erfolgt die initiale Inbetriebnahme der Steuerungstechnik erst auf der realen Produktionsanlage. In der Steuerungstechnik müssen sämtliche Produktionsabläufe definiert, gesteuert und kontrolliert werden. Entsprechend hoch ist der Aufwand und die Sorgfaltspflicht.

Das konventionelle Einfahren findet oft unter ungünstigen Umgebungsbedingungen statt. Häufig ist man auf Systeme der Peripherie angewiesen, die womöglich noch nicht vollständig funktionsfähig sind. Kurzum: Schnelle Hochlaufzeiten und eine wirtschaftliche Inbetriebnahme sind mehr Wunsch denn Realität. Darüber hinaus lassen sich realistische Leistungsdaten der Produktionssysteme, wie z. B. Ausbringung und Auslastung, oft erst dann ermitteln, wenn die Anlagen bereits in Betrieb sind.

3.3. Virtuelle Inbetriebnahme

DELMIA Automation ist ein Werkzeug für die virtuelle Inbetriebnahme von Maschinen und Fertigungsanlagen. DELMIA Automation koppelt sozusagen die Digitale Fabrik mit der Steuerungstechnik. Ziel der virtuellen Inbetriebnahme ist, Steue-

rungsprogramme und HMI[2]-Funktionalität vor der realen Erstinbetriebnahme an virtuellen Modellen zu validieren. Damit können Anwender effizient detaillierte elektrische und mechanische Systeme modellieren, evaluieren und validieren, bevor die Systeme aufgebaut sind.

Bisher waren Test und Inbetriebnahme der Automatisierungslösung der neuralgische Punkt beim Bau neuer Fertigungseinrichtungen. Diese Phase konnte traditionell erst begonnen werden, wenn tatsächlich Maschinen-Hardware real existiert. Konstruktive Fehler im Maschinenbau wurden erst sehr spät erkannt und deren Korrekturen sind aufwendig.

Mit DELMIA Automation wird diese kritische Phase vorgezogen und entschärft. Das virtuelle mechatronische Abbild einer Anlage entsteht schrittweise parallel zu Planung und Konstruktion. Produktdesigner, Fertigungsplaner und Fabrikplaner stehen dabei in engem Dialog.

DELMIA Automation fügt sich nahtlos in die PLM Software-Suite von DELMIA ein, wie Abbildung 3 zeigt. Die Fügefolgenplanung, Vorrichtungskonstruktion, Roboter-Simulation, Offlineprogrammierung und die virtuelle Inbetriebnahme sind innerhalb einer gemeinsamen Softwareumgebung ablauffähig.

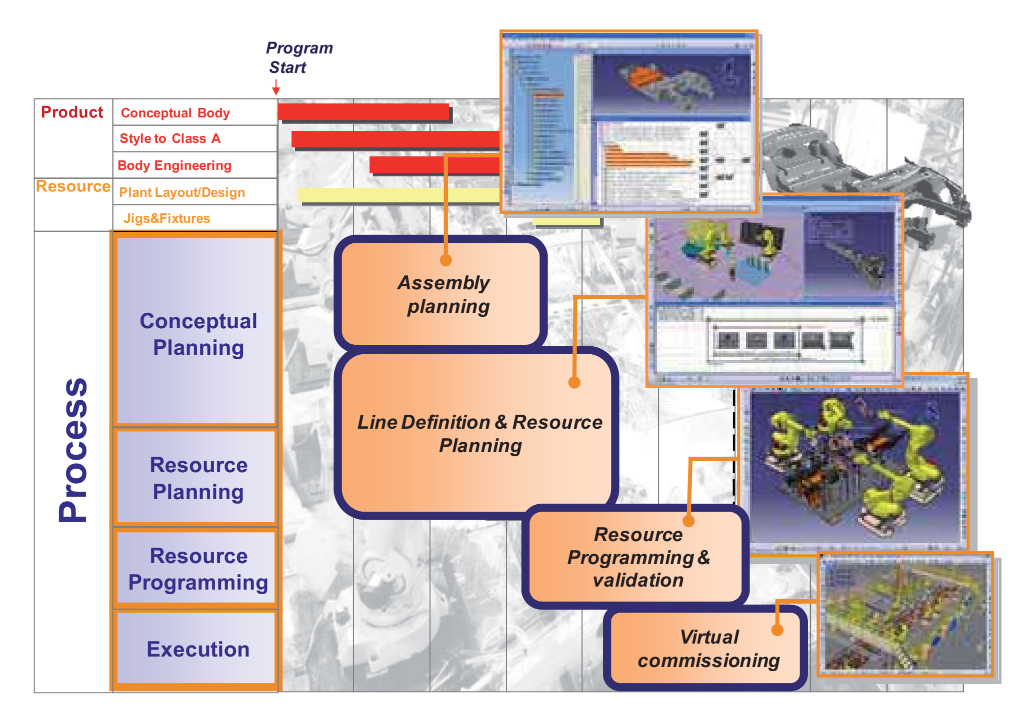


Abbildung 3: Automotive Body-in-White Solution.

3.4. Virtuelle Inbetriebnahme im Brownfield-Einsatz

Besondere Bedeutung gewinnt der Einsatz von DELMIA Automation bei Anlagenumbauten; also im Brownfield-Einsatz. Solche Umbaumaßnahmen stehen i. d. R. unter sehr großem Termindruck, da die Umbauzeit verlorene Produktionszeit ist.

[2] HMI (Abk. für Human Machine Interface), englisch für Mensch-Maschine-Schnittstelle.

Im Automobilbau gehört Retooling heute zur Tagesordnung. Aufgrund der zunehmenden Variantenvielfalt, der Verkürzung der Modellzyklen und der langen Lebensdauer moderner Industrieroboter überdauern die Anlagen heute die Lebenszyklen der Fahrzeuge. Beim Modellwechsel bzw. bei der Aufplanung eines neuen Fahrzeugmodells auf einer existierenden Fertigungslinie wird daher umgebaut, statt abgerissen.

DELMIA Automation ermöglicht dabei, die geplanten Änderungen unter Berücksichtigung des aktuellen Anlagenstandes vorab am virtuellen Modell der Anlagen zu untersuchen. Dazu ist es wichtig, neben der realen SPS auch die reale Robotersteuerung mit der virtuellen Anlage zu verbinden. Reale Programme treiben so das virtuelle, modifizierte Modell der Realität an.

Insgesamt führt das zu einer Erhöhung der Planungsqualität bei gleichzeitiger Reduzierung der Realisierungszeit auf der Baustelle. Dieses Plus an Sicherheit und Zeitgewinn macht sich für den Endkunden bezahlt.

3.5. Aufbau mechatronischer Komponenten

Für die Anlagenplanung und Simulation der Fertigungsabläufe werden aus den 3D-CAD-Daten so genannte „Smart Devices“ erzeugt. Smart Devices sind Einheiten wie zum Beispiel Spannvorrichtungen in einem Automobil-Rohbau oder Roboter, deren Eigenschaften und Bewegungsabläufe für die Simulation definiert werden. Diesen Smart Devices werden automatisierungsspezifische Eigenschaften zugeordnet, also im Fall der Spannvorrichtung Eingangssignale für „Spannen“ und „Lösen“ sowie die Rückmeldungen „gespannt“ und „gelöst“. Eine so definierte Komponente kann als Bestandteil einer Datenbank immer wieder verwendet werden.

Die Programmierung erfolgt in einer systemneutralen Umgebung auf Basis von IEC 61131-3. Für die Arbeit mit einer realen Steuerung wird dieses Programm auf der Zielplattform umgesetzt. Der Test des Programms kann als reine rechnergestützte Simulation oder auch unter Nutzung einer realen SPS durchgeführt werden. Hierfür müssen lediglich die in der Steuerung abgebildeten E/A´s der Smart Devices mit der SPS verbunden werden. Abbildung 4 zeigt den Workflow der virtuellen Inbetriebnahme.

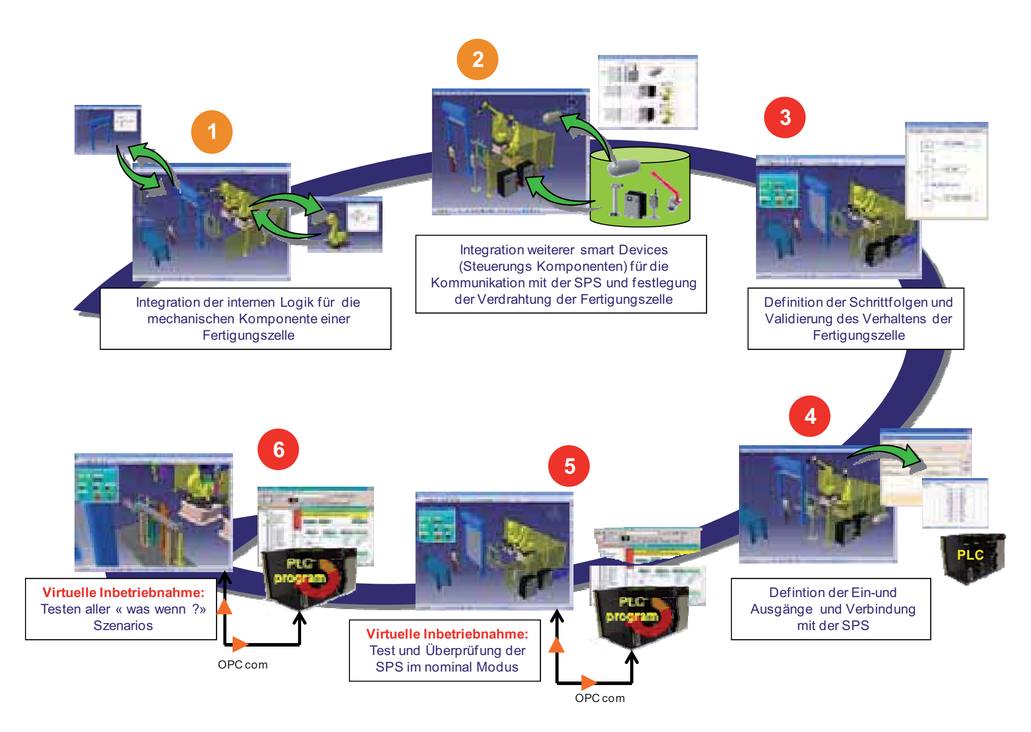


Abbildung 4: Workflow der virtuellen Inbetriebnahme.

4. Über Dassault Systèmes

Als Weltmarktführer von 3D- und Product-Lifecycle-Management-Lösungen (PLM) betreut Dassault Systèmes mehr als 100.000 Kunden in 80 Ländern. Seit 1981 agiert Dassault Systèmes als Vorreiter im 3D Softwaremarkt und entwickelt PLM-Anwendungen und Services, welche die standortübergreifenden Produktentwicklungsprozesse unterstützen. PLM-Lösungen von Dassault Systèmes bieten die dreidimensionale Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus, der vom ersten Konzept bis zur Wartung des fertigen Produkts reicht. Das Portfolio von Dassault Systèmes besteht aus CATIA für die virtuelle Produktentwicklung – SolidWorks als 3D-CAD-Lösung – DELMIA für die virtuelle Produktion – SIMULIA für virtuelle Erprobung und ENOVIA für weltweites Collaborative Lifecycle Management, einschließlich ENOVIA VPLM, ENOVIA, MatrixOne und ENOVIA SmarTeam. Dassault Systèmes ist börsennotiert an der Nasdaq (DASTY) und Euronext Paris: (#13065; DSY.PA).

5. Literatur

Homepage Dassault Systèmes: </http://www.3ds.com/products/delmia/solutions/automation/>, letzter Abruf am: 20.04.2009.

Graupner, T.-D.: Virtuelle Inbetriebnahme mit Werkzeugen der Digitalen Fabrik. In: Müller, E. ; Management Information Center -MIC-, Landsberg/Lech; TU Chemnitz: Ramp up - Anlaufmanagement in der Automobil-Produktion: Fachtagung, 28. und 29. September 2006, Leipzig.

Graupner, T.-D. (Hrsg.) ; Brandner, C. (Hrsg.) ; Management Information Center -MIC-, Landsberg/Lech: Digitale Fabrik in der Automobilindustrie. Einführungsworkshop Wege zur Digitalen Fabrik. CD-ROM : 22. Mai 2006, Ludwigsburg.

Graupner, T.-D.; Bierschenk, S.: Erfolgsfaktoren bei der Einführung der Digitalen Fabrik. In: Industrie-Management 21 (2005), Nr. 2, S. 59-62.

6. Autor

Dipl.-Ing. Tom-David Graupner
Client Executive Aerospace

Dassault Systèmes Deutschland AG
Wankelstraße 4
70563 Stuttgart

Telefon: 0711 27300 267
Telefax: 0711 27300 597
E-Mail: tom-david.graupner@3ds.com



Digitale Prozessentwicklung und Digitale Fabrik

Komfortbewertung in Simulation: Sinnvoller Einsatz von »Virtuellem Komfort«

Dr. Susanne Frohriep

Lebenslauf



Dr. Susanne Frohriep

Senior Ergonomics Engineer

Leggett & Platt Automotive Group Europe
Frankenstraße 150A
90461 Nürnberg

Telefon: 0911 952 8282
E-Mail: susanne.frohriep@lpautomotive.eu

Seit April 2008	Senior Ergonomics Engineer bei Leggett & Platt Automotive Group Europe, Nürnberg
Okt. 2004 - März 2008	Ergonomics Specialist bei Leggett & Platt Automotive Group Europe, Nürnberg
April 2003 - Sep. 2004	Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Forschungsgruppe Industrieanthropologie an der Christian-Albrechts-Universität Kiel; Lehrbeauftragte der Christian-Albrechts-Universität am Anthropologischen Institut und am Institut Deutsch als Fremdsprache
April 2001 - März 2003	Visiting Lecturer an der Universität Waseda, Tokyo, Sprachforschungsinstitut (Goken)
1999 - 2000	Lehrkraft im Angestelltenverhältnis für drei Wochenstunden Japanisch am Humboldt-Gymnasium, Kiel
Okt. 1998 - März 2001	Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Forschungsgruppe Industrieanthropologie an der Universität Kiel; Grundlagenforschung und Konsumententests in den Bereichen Körperunterstützung und Mikroklima
Mai 1998	Promotion „Innovation und Tradition"; Fächer: Englische Philologie, Allgemeine Sprachwissenschaft, Anthropologie
1992 - 1998	Wissenschaftliche Hilfskraft der Bevölkerungswissenschaft/ Anthropologie der Universität Kiel im Bereich Produktforschung, Literaturrecherche, englische Fachtexte

Komfortbewertung in Simulation: Sinnvoller Einsatz von "Virtuellem Komfort"

Dr. Susanne Frohriep

1. Einleitung: Komfort in der Produktentwicklung

In der Fahrzeugindustrie entstehen große Kosten durch sog. "Schleifen" in der Produktentwicklung: ein Produkt wird konzipiert, in CAD konstruiert, als Prototyp gebaut, getestet, modifiziert. Eine Modifikation veranlasst ein erneutes Durchlaufen des Prozesses ab CAD-Design, und dieses kann durchaus wiederholt passieren. Somit ersehnt die Industrie eine Möglichkeit, Sitzkomfort virtuell zu erfassen und den Entwicklungsprozess dank der Simulation lediglich ein einziges Mal zu durchlaufen. OEMs fordern Konzepte zum "idealen Sitz", der "idealen Druckverteilung" und zur Simulation von Sitzkomfort.

2. Aussagekraft virtueller Komfortmodelle

Eine ganze Reihe von unterschiedlichen Ansätzen hat sich der Entwicklung von virtuellen Komfortmodellen gewidmet. Diese umfassen beispielsweise die Integration von Komfortwinkeln der Körpergelenke, die Modellierung von Muskelkräften, die FEM-Darstellung von Körperteilen und die Einbeziehung von Grenzwerten für Muskelarbeit in unterschiedliche Menschmodelle. Eine Hinterfragung der Anwendungsreife ergibt allerdings bisher eine Einschränkung auf Detailfragen oder genau definierte Umgebung und Abläufe mit direkt zur Tiefe der Bearbeitung korrelierender geringer werdender Aussagekraft. Auch umfassende Arbeiten (z.B. Verver, 2004, Mergl, 2006) zeigen, in welch engen Grenzen bisher Modellierung möglich ist - ein Individuum und ein Sitz wurden nachgebildet, und für dieses Individuum und diesen Sitz ist die Verformung der Kontaktfläche oder die Druckverteilung im Modell nachzuvollziehen. Für eine weitere Verallgemeinerung sind diese Modellierungen in der Regel nicht geeignet.

Ein komplexes FE-Modell modelliert die Druckverteilung, die auf einem Sitz durch ein bestimmtes Individuum erzeugt wird. Mit einer Messung durch eine Druckmessmatte kann eine Simulation mit einer tatsächlichen Verteilung verglichen werden. Allerdings sind die Ergebnisse dieser Simulation nicht im Kontext des Komfortempfindens überprüfbar, denn es liegt damit noch kein definierter Zusammenhang mit dem Komforteindruck vor. Personen vergleichbarer Körpermaße können durchaus individuell verschiedene Vorlieben bezüglich der Druckverteilung haben (z.B. Druck in der Lordosenregion oder am Beckenrand). Weiterhin ist die Verformung des Gewebes der Insassen nicht linear mit Sitzeigenschaften zu korrelieren (Frohriep, 2000), somit hat die Reduktion auf einzelne Individuen lediglich eine sehr begrenzte Aussagekraft. Die scheinbar exakte Berechnung liefert lediglich eine virtuelle Entsprechung für ein Individuum, jedoch kein generalisierbares Ergebnis.

Aufgrund des Zwanges zur Vereinfachung wird das virtuelle Nutzerkollektiv somit auf ein Konglomerat von Durchschnittswerten reduziert. Oftmals wird das 50. Perzentil männlich eingesetzt statt Bereiche zu untersuchen. Ein Menschmodell durchschnittlicher Größe eignet sich jedoch nicht dazu, ein Nutzerkollektiv abzubilden. Die Grundannahme der Arbeiten zu virtuellen Komfortmodellen beruht darauf, dass es mit fortschreitender Leistungssteigerung von Computern möglich sein sollte, diese Berechnungen auf eine größere Anwendungsbreite auszuweiten.

Allerdings gibt es bisher nur wenige Indizien, dass dieses gelingen könnte. O'Bannon (2007) nannte den Gesamtzusammenhang Komfortbeurteilung einen Prozess der "nicht reduzierbaren Komplexität", da zu viele Dimensionen beteiligt seien. Auch eine komplexe Entsprechung des Prozesses hätte nicht notwendigerweise eine tiefergehende Aussagekraft, da sie multidimensional wäre und ihre Aussagen nicht mehr auf umsetzbare Richtlinien herunterzubrechen sind.

3. Falsche Grundannahmen bewirken unsichtbare Fehler

Typische Fehlannahmen in der Konzeption von Modellen sind z.B. "menschliche Bewegungen verhalten sich rationell", "unterschiedliche Nutzergruppen haben identisches Komfortempfinden" oder "was bequem ist, ist auch gesund". In diesen Annahmen liegt eine große Gefahr für die Simulation, die von falschen Grundannahmen ausgehend, nicht funktionieren kann, aber so komplex ist, dass Fehler nicht ohne weiteres auffallen.

Menschliche Bewegungen folgen nicht immer der Logik der Rationalität. In der virtuellen Entwicklung und Begutachtung von Arbeitsabläufen wird eine beidhändige Nutzung abhängig von dem Grad der Schulterabwinklung angenommen, d.h., man geht davon aus, dass die dominante Hand höchstens bis zur anderen Schulterebene benutzt wird. Ein Experiment von Choi (2007) hat jedoch aufgezeigt, dass die bevorzugte Hand noch bis zu einer 20° Abweichung der Schulterebene verwendet wird, wenn die zu leistende Aufgabe die dominante Hand erfordert. Hier handelt es sich um eine "Bevorzugungsgrenze" statt einer "absoluten Grenze" (anthropometrischer Grenzwert der Erreichbarkeit). Zusätzlich gibt es kulturelle Aspekte des Komfortempfindens, wie eine Studie von PSA zur Seitenkonturierung aufgezeigt hat (Vercaygne-Bat, 2008). Das bedeutet, dass für ein Produkt, das weltweit vertrieben werden soll, nationale Untersuchungen nicht ausreichen, da sich das Komfortempfinden je nach Nutzergruppe unterscheiden kann. Bei der Beurteilung von Sitzkomfort lässt sich die Bewertung "bequem" nicht mit "gesund" gleichsetzen. Es ist bekannt, dass die Rundrückenhaltung eine komfortable Sitzposition darstellt, die für Bänder und Bandscheiben sehr belastend ist (Dolan, 2006).

4. Der Mensch als Messgerät

Bei den unterschiedlichen Ansätzen zur Modellierung wird auf Konferenzen und in der Literatur generell darauf hingewiesen, dass ein physischer Aufbau zur Abstimmung weiterhin notwendig ist. Der Insasse stellt dabei die komplexe Schnittstelle dar und wird als "Komfort-Universalmessgerät" genutzt (Dainoff, 2007). Bei der Bewertung wird ein Kollektiv dieser Mehrzweck-Hilfsmittel gebildet, die eine genaue Einschätzung der Sitzqualität liefern können. Subjektiv bedeutet nicht "beliebig" (O'Bannon, 2007), d.h. individuelle Bewertungen von Sitzkomfort sind gültig und reproduzierbar, solange die angewendeten Verfahren gültig und reproduzierbar sind. An der TU München sind über viele Jahre Untersuchungen der Druckverteilung und zugehöriger Komfortbewertung durchgeführt worden, die in eine Beschreibung der idealen Druckverteilung mündeten (Mergl, 2006, Hartung, 2004). Zenk (2008) konnte nachweisen, dass die Einstellung dieser idealen Druckverteilung in einem Sitz den Druck innerhalb der Bandscheiben reduziert.

Das verwendete Komfortkonzept richtet sich nach der Definition von Zhang (1996), nach der Komfort und Diskomfort keine direkten Gegensätze darstellen, sondern zwei Aspekte sind, die auch gleichzeitig auftreten können. Diskomfort hängt mit biomechanischen Faktoren zusammen, und er ist deshalb für Versuchspersonen gut quantifizierbar und somit reproduzierbar prüfbar. Komfort ist weniger greifbar,

zusammenhängend mit Gefühlen wie Entspannung und Wohlbefinden, er entsteht nicht notwendigerweise, wenn der Insasse am Sitz keine störenden Elemente wahrnimmt.

Für viele Aspekte des Sitzkomforts liegt ein schwarz-weiß (ganz-oder-gar-nicht) Bewertungszustand vor: Der Sitz passt für den Insassen, und dieser ist zufrieden, oder der Sitz passt für den Insassen nicht, und dieser ist sehr unzufrieden. Dieses Phänomen bezeichnen wir als den "begrenzenden Komfortfaktor", den Effekt, dass ein Gesamteindruck nur so gut sein kann, wie das schwächste / schlechteste Element.

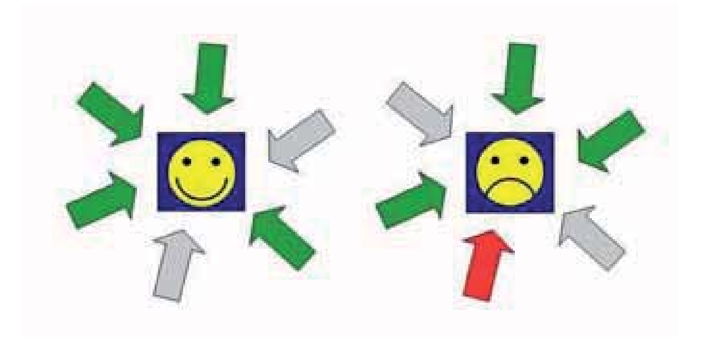


Abbildung 1: Der begrenzende Komfortfaktor: Die Beurteilung ist so gut, wie das schwächste Glied. (Grün: positive, Grau: neutrale, Rot: negative Eindrücke)

Entsprechend der Perzentilierung von Körpermaßen lässt sich das Komfortempfinden ebenfalls gruppieren, um Komfortperzentile der Insassen abzubilden. So existieren beispielsweise Personen, die bei der Einschätzung der Sitzhärte besonders harte Unterstützungsflächen favorisieren (95. Perzentil), oder solche, die besonders weiche Flächen bevorzugen (5. Perzentil). Ebenso lässt sich bei Aspekten wie Konturierung der Rückenlehne (gerade bis stark geschwungen), Seitenhalt (sehr eng bis weit) und Druckverteilung (differenziert bis homogen) eine solche Unterscheidung des Nutzerkollektivs treffen. Eine solche Differenzierung ginge über die durch Körpermaße vorgegebenen Spannen hinaus, um Aspekte der individuellen Vorlieben einzuschließen.

5. Das Komfortgedächtnis einer Institution

Eine Datensammlung abgeschlossener Entwicklungen, aus der Richtlinien für zukünftige Produkte abgeleitet werden können, bildet die Grundlage für "virtuellen Komfort". Solche Entwicklungsrichtlinien aus Unternehmenserfahrungen können eine Reduktion des Aufwandes in der Konstruktion bewirken, wenn sie allgemein zugänglich und verständlich sind. Die Messmethodik muss auf die Anwendung des Unternehmens zugeschnitten entwickelt werden (Frohriep, 2007). Bei der L&P Automotive Group bezieht sich die Komfortbeurteilung auf konturverändernde Komfortelemente in Sitzen, z.B. Lordosenstützen, Schulterunterstützung oder Seitenwangenverstellung. Faktoren, die für diese Elemente komfortrelevant sind, wurden bestimmt und Verfahren, um diese zu messen, angepasst oder entwickelt.

Der Komforteindruck im Fahrzeugsitz entsteht immer aus mehreren Einflüssen, z.B. für die Insassen passende Dimensionen, Druck im Kontaktbereich mit klar definierten Zonen, flächiger Abstützung und definierten Gradienten zwischen Druckbereichen in Schulter- und Lordosenregion, subjektiven Eindrücken bezüglich der Oberflächengestaltung, Härte und Federungsreserve des Sitzes.

Diese Einflüsse werden durch Messungen mit eigens definierten Abläufen reproduzierbar erfasst, 3D Geometrie-Messung, Druckverteilungsmessungen mit Versuchspersonen und Erfassung des subjektiven Komforts mit elektronischen Fragebögen. Die dreidimensionale Messung erfasst vor allem Wölbscheitelhöhen, Wölbwege und -radien. Druckverteilungsmessungen zeigen, ob eine ausreichende Variation von Insassen komfortabel abgestützt werden können, und durch speziell entwickelte Fragebögen werden nicht nur die Komfortelemente, sondern ebenfalls andere Bereiche des Sitzes bewertet, die auf den Komfort Einfluss nehmen. Zusammenfassend mit den bekannten Körperdaten und Vorlieben der Versuchspersonen entsteht eine Sitzbewertung aus den Komponenten Dimensionierung, Druckverteilung im Kontaktbereich und subjektiver Komfortbewertung. In der Analyse werden die Sitzeigenschaften zu den Komforteinschätzungen in Bezug gesetzt.

Die zu einem Stand erhobenen Daten werden projektbezogen serverbasiert gespeichert, so dass die Entwicklung eines Sitz-Systems von ersten Prototypen bis zur Serienreife nachvollzogen werden kann. Zusammenfassende Berichte geben Ergebnisse und Schlussfolgerungen zu den jeweiligen Ständen der Sitz-Systeme.

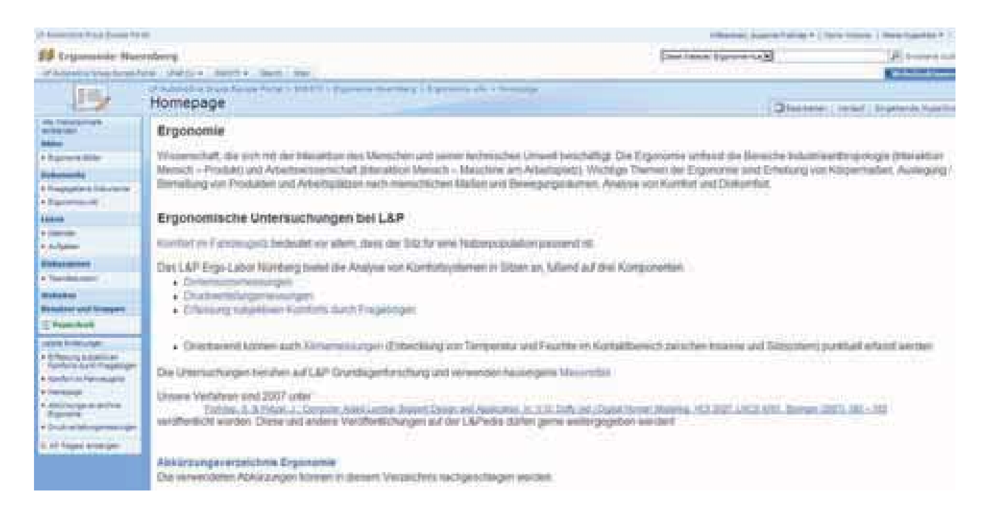


Abbildung 2: Firmen-Intranet als lebende Ressource

Aus den Entwicklungslinien verschiedener Komfortsysteme lassen sich dann unter Berücksichtigung der "best practices" und Gesundheitsaspekten Entwicklungsrichtlinien ableiten, die als Datenbank mit Beispielen im Firmen-Intranet für alle Mitarbeiter zugänglich gespeichert sind und kontinuierlich aktualisiert werden. Diese Daten bilden ein von individuellen Mitarbeitern unabhängiges "Komfortgedächtnis" und damit eine Ressource, die mit jeder weiteren Entwicklung weiterentwickelt werden kann.

6. Literatur

Choi, Hyeg Joo, Leonard S. Mark et al., 2007 "Constraints on Demarcating Left and Right Areas in Designing of a Performance-Based Workstation," Ergonomics and Health Aspects, ed. M. Dainoff, HCII 2007, LNCS 4566, 171 - 179

Dainoff, Marvin, 2007, "Forget About Aethetics in Chair Design: Ergonomics Should Provide the Basis for Comfort", Ergonomics and Health Aspects, ed. M. Dainoff, HCII 2007, LNCS 4566, pp. 19 - 25.

Dolan, Patricia, 2006, "How does Sitting Posture Influence Muscle Activity?" Ergomechanics 2, ed. H.-J. Wilke, Aachen.

Frohriep, Susanne, Konrad Helbig, Gerd Kuechmeister & Norbert Vogt, 2000, "Deformation of Soft Parts of the Human Body," Proceedings of the 5th International Congress on Physiological Anthropology, Seoul 2000, 117- 120.

Frohriep, Susanne & Jan Petzel, 2007, „Computer Aided Lumbar Support Design and Application," in: V.G. Duffy (ed.) Digital Human Modeling, HCII 2007, LNCS 4561, pp. 585 – 593, Springer Verlag, Berlin Heidelberg (2007)

Hartung, Jürgen, 2004, "Sensitivity of Human Pressure Feelings While Sitting", SAE Technical Papers.

Mergl, Christian, 2006, Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung des Sitzkomforts auf Automobilsitzen, München.

O'Bannon, Terry, 2007, "Ten Common Practices That Are Killing Seat Comfort", Presenation, ITB Conference Automotive Seating Systems, Detroit, unpublished presentation.

Rasmussen, John, 2009, "Anthropometrical Scaling in Musculosceletal Models", webcast March 19th, 2009, http://www.anybodytech.com/199.0.html

Vercaygne-Bat, Guy-Noel, 2008, "Specific Seat Requirements for Market Specificities. Design to Market", IQPC 2008, Frankfurt.

Verver, Murielle M., 2004, Numerical Tools for Comfort Analyses of Automotive Seating, Eindhoven.

Van der Meulen, Peter & Andreas Seidl, 2007, "Ramsis - The Leading CAD Tool for Ergonomic Analysis of Vehicles", Digital Human Modelling, ed. V.G. Duffy, HCII 2007, LNCS 4561, pp. 1008 - 1017.

Zenk, Raphael, 2008, "Spine Load in the Context of Automotive Seating", IQPC 2008, Frankfurt.

Zhang, Lijian, 1996, "Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting", Human Factors 38 (3), 377 - 389.

7. Autor

Dr. Susanne Frohriep
Senior Ergonomics Engineer

Leggett & Platt Automotive Group Europe
Frankenstraße 150A
90461 Nürnberg

Telefon: 0911 952 8282
E-Mail: susanne.frohriep@lpautomotive.eu



Digitale Prozessentwicklung und Digitale Fabrik

Mensch-Roboter-Kooperation – Generieren und Visualisieren räumlicher Überwachungszonen

Dipl.-Inf. Roland Krieger
Dr. Björn Matthias

Lebenslauf



Dipl.-Inf. Roland Krieger

Scientist

ABB AG Forschungszentrum
Wallstadter Str. 59
68526 Ladenburg

Telefon: 06203 71 6017
E-Mail: roland.krieger@de.abb.com

1999-2004	Technische Universität Kaiserslautern,
Juni 2004	Diplom in Angewandter Informatik
seit 2004	ABB AG Forschungszentrum / ABB Corporate Research, Wissenschaftlicher Mitarbeiter „Robotics and Manufacturing”

Lebenslauf



Dr. Björn Matthias

Senior Principal Scientist
Robotic Automation

ABB AG Forschungszentrum
Wallstadter Str. 59
68526 Ladenburg

Telefon: 06203 71 6145
E-Mail: bjoern.matthias@de.abb.com

1979 - 1983 Juni 1983	California Institute of Technology, B.S. Physics
1983 - 1991 Mai 1985 Mai 1987 Mai 1991	Yale University, M.S. Physics M.Phil. Physics Ph.D. Physics
1991 - 1994	Universität Heidelberg, Physikalisches Institut, Post Doc
seit 1994	ABB AG Forschungszentrum / ABB Corporate Research,
1994 - 2000	wissenschaftlicher Mitarbeiter „Elektromagnetik & System Simulation"
1997 - 2000	Gruppenleiter „Elektromagnetik & System Simulation"
1998	Program Manager, „Electromagnetics and System Simulation"
2000 - 2001	Gruppenleiter „Mittelspannungstechnik"
2001 - 2002	Gruppenleiter „Robotik und Mechatronik"
seit 2003	Senior Principal Scientist, „Robotic Automation"

Mensch-Roboter-Kooperation - Generieren und Visualisieren räumlicher Überwachungszonen

Dipl.-Inf. Roland Krieger, Dr. Björn Matthias

1. Kurzfassung

Die Mensch-Roboter Kooperation (MRK) erfordert zur Überwachung der Roboterbewegung die Verwendung von Sicherheitscontrollern, welche von einem Inbetriebnehmer konfiguriert werden müssen. Die Einrichtung der Parameter wie kartesische Sicherheitszonen oder Achsbereichsgrenzen für diese Sicherheitscontroller kostet den Inbetriebnehmer einer Fertigungszelle mit zunehmender Komplexität der Anwendung viel Zeit. Möglichkeiten für eine geeignete Visualisierung der Überwachungszonen innerhalb der Fertigungszelle fehlen gänzlich, will man nicht auf einen externen PC oder kostenintensives zusätzliches Equipment für Virtual- oder Augmented Reality zur Darstellung zurückgreifen.
Der vorliegende Beitrag schlägt ein neues Konzept vor, welches ein schnelles, visuell unterstütztes Einrichten von Fertigungszellen aller Art ermöglicht.
Es wird ein Verfahren vorgestellt, welches die Darstellung der räumlichen Überwachungsparameter mittels in der Zelle vorhandener Hardware (Programmierhandgerät, Roboter) erlaubt und so den Inbetriebnehmer beim Einrichten der Zelle unterstützt.

2. Einleitung

Die Vorteile eines Roboters (hohe Traglast bzw. hohe Geschwindigkeit bei großer Präzision) mit denen eines Menschen (sensorische Fähigkeiten und problemlösendes Denken) zu vereinigen, spielt in der Produktion eine immer wichtigere Rolle. Die Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) und –Interaktion lässt sich insbesondere dann vorteilhaft einsetzen, wenn kleine Losgrößen bei großer Variantenvielfalt hohe Anforderungen an die Flexibilität der Fertigung stellen.
Um einen hinreichenden Schutz des Menschen zu gewährleisten, werden so genannte Safety Controller (SC) verwendet. Diese überwachen die Bewegung des Roboters als zusätzliche Kontrollinstanz und verhindern beispielsweise das Befahren von kartesischen Sicherheitszonen, in denen sich ein Mensch aufhält. Die Einrichtung dieser Sicherheitszonen kostet den Inbetriebnehmer einer Fertigungszelle mit zunehmender Komplexität der Anwendung viel Zeit, da Möglichkeiten für eine geeignete Visualisierung der Überwachungszonen innerhalb der Fertigungszelle gänzlich fehlen.
Der vorliegende Beitrag stellt ein neues Konzept für die Einrichtung von MRK-Fertigungszellen vor, welches ein schnelles, visuell unterstütztes Einrichten von Fertigungszellen aller Art ermöglicht.

3. Erzeugen und Visualisieren der Sicherheitsparameter

Das manuelle Erstellen von Parametern geschieht nach dem Stand der Technik mittels grafischer Konfigurationswerkzeuge, die von den Roboterherstellern als Standardsoftware zusammen mit den gängigen Sicherheitscontrollern ausgeliefert werden. Neue Ansätze zur schnelleren, automatisierten Erstellung von Sicherheitsparametern werden in [1] vorgestellt.
Beim Visualisieren unterscheidet man zwei Strategien: Unter Online-Visualisierung versteht man die Darstellung der Parameter direkt in der Roboterzelle ohne zusätzliches Equipment wie externe PCs, etc. Die Offline-Visualisierung stellt Parameter

in einer Visualisierungsumgebung z.B. auf einem externen PC, also typischerweise außerhalb der Fertigungszelle dar.

3.1. Offline-Visualisierung

Um die vollständige Sicherheitskonfiguration einer Fertigungszelle schnell und intuitiv erfassen zu können, ist eine geeignete Darstellung der generierten Parameter erforderlich.
Bekannte, von den Roboterherstellern vertriebene Konfigurationswerkzeuge beschränken sich auf eine Visualisierung der Parameter im Zweidimensionalen. Dies ist eine erhebliche Einschränkung, die durch die neu entworfene Benutzerschnittstelle aufgehoben wird. Parameter können hier importiert und im Simulationsprogramm als Körper in drei Dimensionen dargestellt werden (blaue Sicherheitszone, Abbildung 1). Als Simulationsumgebung wurde RobotStudio von ABB verwendet. Dies ist insbesondere vorteilhaft, wenn der Roboter sowie ggf. weitere Zellenbestandteile als CAD-Datenmodell vorhanden sind. Der Inbetriebnehmer kann so virtuell durch die Zelle „wandern", die konfigurierten räumlichen Bereiche in 3D inspizieren und Konfigurationsfehler schnell erkennen.

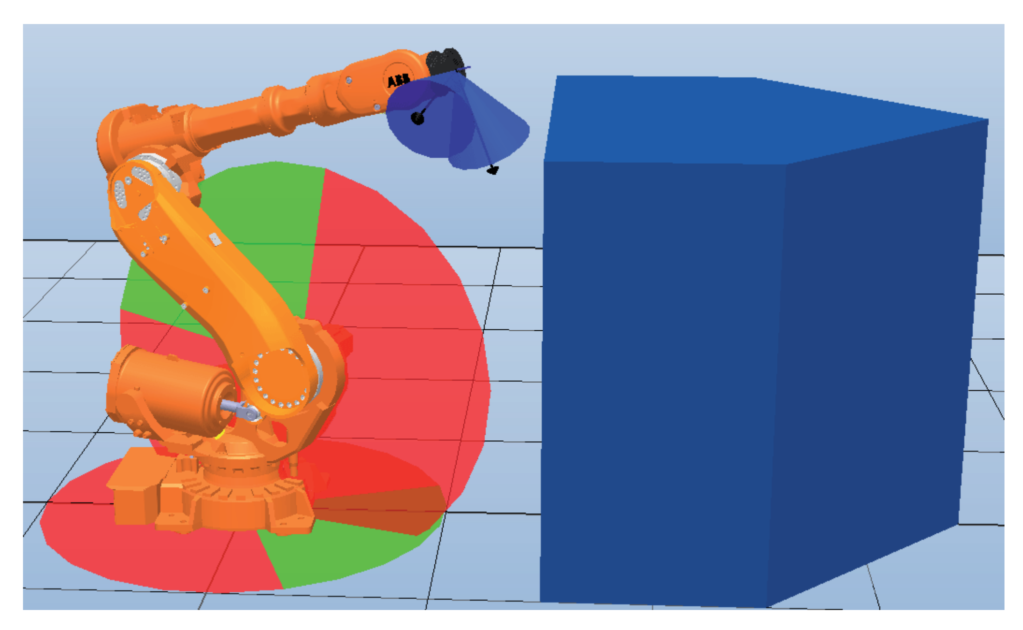


Abbildung 1: Visualisierung von zulässigen und verbotenen Achsbereichen (grün bzw. rot), einer Orientierungsüberwachung am Roboterflansch und dreidimensionalen Sicherheitszonen in RobotStudio.

Neben den Sicherheitszonen im kartesischen Raum lassen sich auch Achsbereichsgrenzen im Stil von Kuchendiagrammen darstellen. Vor allem die Bewegungsbereiche der Hauptachsen des Roboters kann der Inbetriebnehmer so schnell abschätzen. In Abbildung 1 dargestellt sind die zulässigen (grünen) und verbotenen (roten) Achsbereiche der ersten und zweiten Achse des Roboters.
Zur Visualisierung der TCP-Orientierungsüberwachung (TCP = Tool center point, dt.: Werkzeugarbeitspunkt) geben zwei Kegel die zulässigen Toleranzen beim Umorientieren um die verschiedenen Koordinatenachsen an. Die Kegel sind in Abbildung 1 am Roboterflansch blau dargestellt.

3.2. Online-Visualisierung

Der Vorteil der Online-Visualisierung ist die permanente Verfügbarkeit der Daten, da zur Visualisierung lediglich auf jederzeit vorhandene Standard Komponenten (Robotersteuerung, Bedienhandgerät, Roboter) zurückgegriffen wird.

Den Bediener unterstützende Werkzeuge der Roboterhersteller zur Online-Visualisierung von Parametern sind nach dem Stand der Technik kaum vorhanden. Mit Hilfe von grafischen Lösungen wie beispielsweise der von der Firma Reis in [2] vorgestellten Zonenvisualisierung in Augmented Reality (AR, „erweiterte Realität“) erhält der Benutzer eine sehr gute räumliche Darstellung, wodurch er die grobe Position von Zonen in Bezug auf ein Werkstück leicht einschätzen kann (siehe Abbildung 2). Derartige Lösungen können jedoch nur bedingt als praktikabel angesehen werden, da sie auf die Verwendung von Kameras oder speziellen, kostenintensiven AR-Brillen angewiesen sind Diese dürften für die meisten Fertigungszellen nicht zu den "Standardkomponenten" gehören.

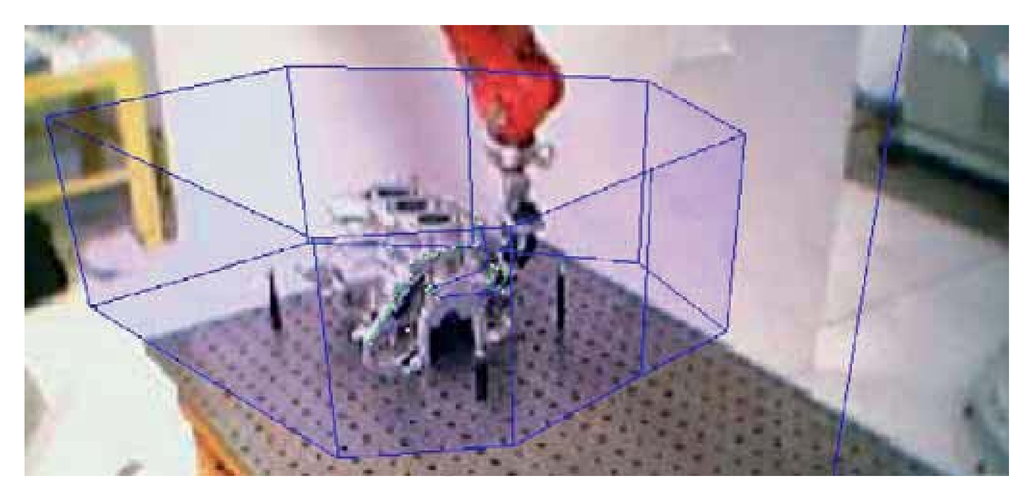


Abbildung 2: Augmented Reality zur Visualisierung einer Sicherheitszone, die das auf der Werkbank liegende Gussteil umschließt [2].

Ein Bedienhandgerät ist üblicherweise in der Roboterzelle vorhanden, da es als integraler Bestandteil zum Einrichten und häufig auch zum Betreiben einer Applikation unabdingbar ist. Will man auf externes Equipment verzichten, bietet es sich daher an, die Visualisierung auf diesem zu implementieren. Verwendet wurde das FlexPendant von ABB mit dazugehöriger Benutzerprogrammierbibliothek.
Die oben in Abbildung 1 dreidimensional dargestellte Sicherheitszone ist in Abbildung 3 auf der Benutzeroberfläche des Bedienhandgerätes in einer Draufsicht im Koordinatensystem des Roboters zu sehen. Die x-Achse verläuft horizontal durch die Zonenmitte, die y-Achse ist am linken Bildrand angeordnet. Der Roboter, im Koordinatenursprung positioniert, ist durch einen orangenen Strich angedeutet. Dieser beschreibt die Ausrichtung der ersten Achse. Die Position des TCP ist durch ein orangenes Kreuz dargestellt. Durch Tippen auf den Bildschirm kann in die Darstellung hinein oder herausgezoomt werden, so dass alternierend einzelne Zonen vergrößert oder die gesamte Zelle mit allen Zonen gleichzeitig zu sehen ist.

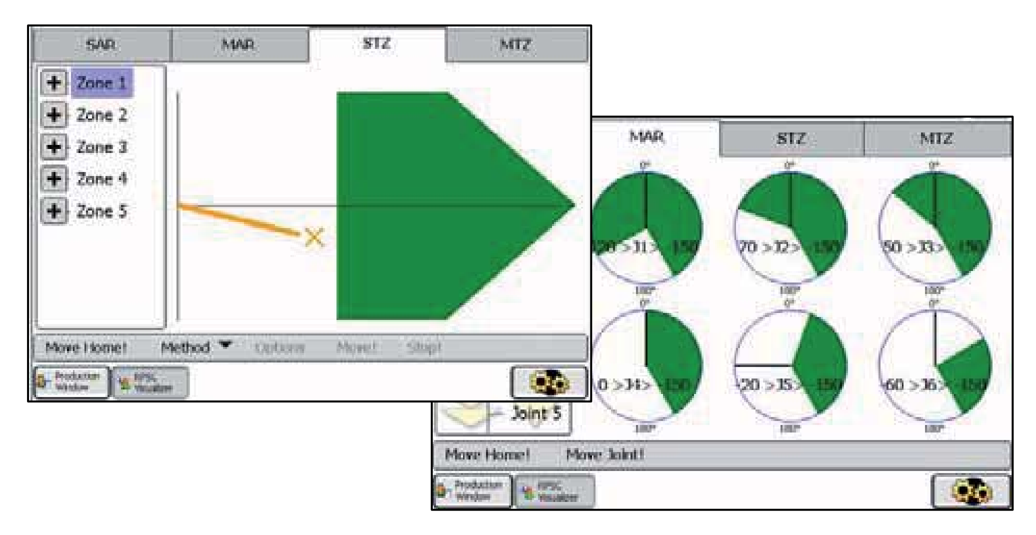


Abbildung 3: Links: Visualisierung einer Sicherheitszone mit Roboterposition auf dem Bedienhandgerät. Rechts: Darstellung von Achsbereichsvorgaben mit den jeweiligen Achspositionen.

Neben den kartesischen Zonen lassen sich auch die zulässigen Achswinkel des Roboters anzeigen, dargestellt in Abbildung 3, rechts. Obere und untere Grenze jeder einzelnen Achse werden als grüner Bereich in einem Kuchendiagramm hervorgehoben, der in jedem Diagramm eingezeichnete schwarze Strich indiziert die gegenwärtige Position der jeweiligen Achse. Sicherheitszonen und Achsbereiche sind die wichtigsten Parameter, die eine Visualisierung auf dem Bedienhandgerät erfordern. Weitere Parameter wie z.B. die TCP-Orientierung könnten ebenfalls dargestellt werden, wurden jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen. Für diese Parameter steht die bereits genannte Offline-Visualisierung im Simulationsprogramm zur Verfügung.

Die Sicherheitsparameter in einer Fertigungszelle auf dem Bedienhandgerät oder einem externen PC anzeigen zu können, ermöglicht eine erste Abschätzung der Lage von Sicherheitszonen und der Ausdehnung von Achsbereichen. Dennoch ist diese Darstellung mit dem Makel behaftet, dass zunächst kein genauer Abgleich mit real in der Zelle vorhandenen Objekten erfolgen kann (sollten diese nicht in RobotStudio als CAD-Körper modelliert sein). So lässt sich nicht feststellen, ob eine Sicherheitszone z.B. eine Werkzeugmaschine vollständig umschließt oder eine Achsbegrenzung den neben dem Roboter arbeitenden Werker ausreichend absichert. Um einen präzisen Abgleich zwischen konfigurierten Parametern und realen Objekten in der Fertigungszelle zu ermöglichen, werden verschiedene Verfahrstrategien umgesetzt, die den Roboter als Visualisierungswerkzeug nutzen: Abbildung 4 zeigt vier Verfahrmodi, die ein schnelles Visualisieren und Testen von Sicherheitszonen erlauben. Eckpunkte (gelbe Punkte) oder Kanten (grüne Linien) von Sicherheitszonen können vom Bediener auf der Oberfläche selektiert und per Knopfdruck angefahren werden. Grenzflächen von Sicherheitszonen lassen sich auch durch Überstreichen mit dem TCP (blaue Linien) darstellen.

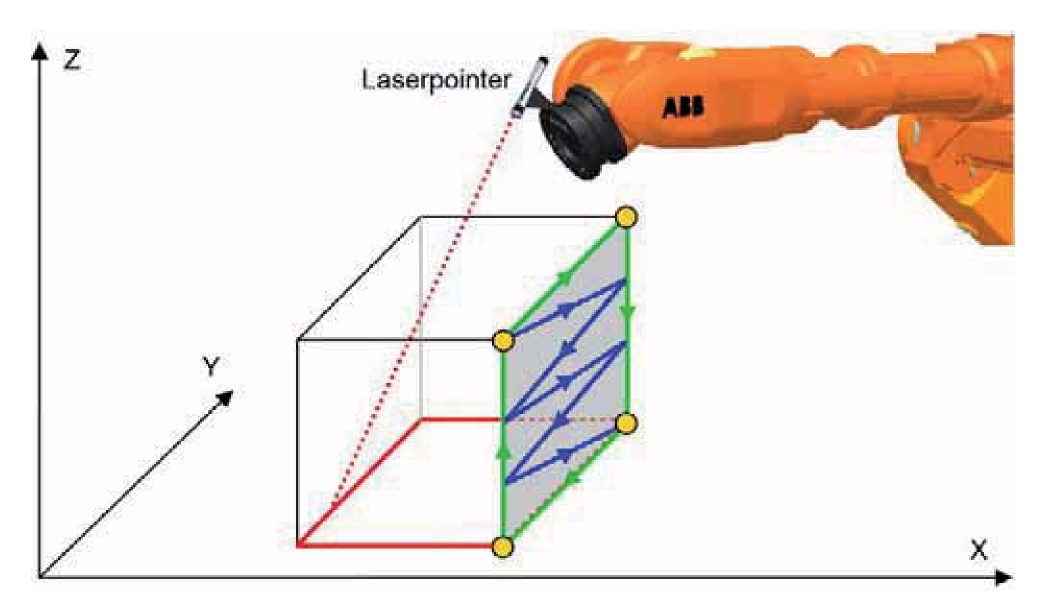


Abbildung 4: Visualisierung für Sicherheitszonen: Eckpunkte (gelb), Kanten (grün), Flächen (blau) oder eine Projektion der Zone auf den Fußboden (rot) können angefahren werden

Parameter können vom Benutzer an beliebigen Zellenpositionen erzeugt werden. Es ist daher möglich, dass einige Zonengrenzen vom Roboter aufgrund ihrer räumlichen Lage mit oben genannten Verfahrmodi nicht angetastet werden können. Diese Punkte lassen sich mit Hilfe eines am Roboterflansch angebrachten Laserpointers visualisieren. Der TCP des Roboters wird dabei um einen fixen Raumpunkt derart rotiert, dass der Laserstrahl entlang einer Projektion der Sicherheitszonengrenzen auf dem Fußboden wandert (Abbildung 3, rote Linie). Bei Bedarf kann der Inbetriebnehmer hierbei die Zone auf dem Boden markieren, indem er z.B. einen Strich auf den Boden zeichnet oder Klebeband zur Markierung aufbringt. Eine Visualisierung mittels Laser ist selbst in beengten Zellen ohne Kollisionsgefahr möglich, da bei der Bewegung lediglich um den TCP umorientiert wird. Nur die direkte Sicht vom TCP auf die relevanten Bereiche des Bodens ist notwendig.

4. Grafische Oberfläche zum Parametertest

Nach dem Erstellen der Parameter ist insbesondere das Testen der konfigurierten Zonen eine extrem zeitaufwändige Angelegenheit, da dieses durch Verfahren des Roboters und gezieltes Verletzen der Parameter geschehen muss. Zum schnellen, effektiven Testen von Sicherheitszonen wurde daher die Möglichkeit vorgesehen, Positionsvorgaben durch Tippen auf den berührungssensitiven Bildschirm an den Roboter zu übermitteln.

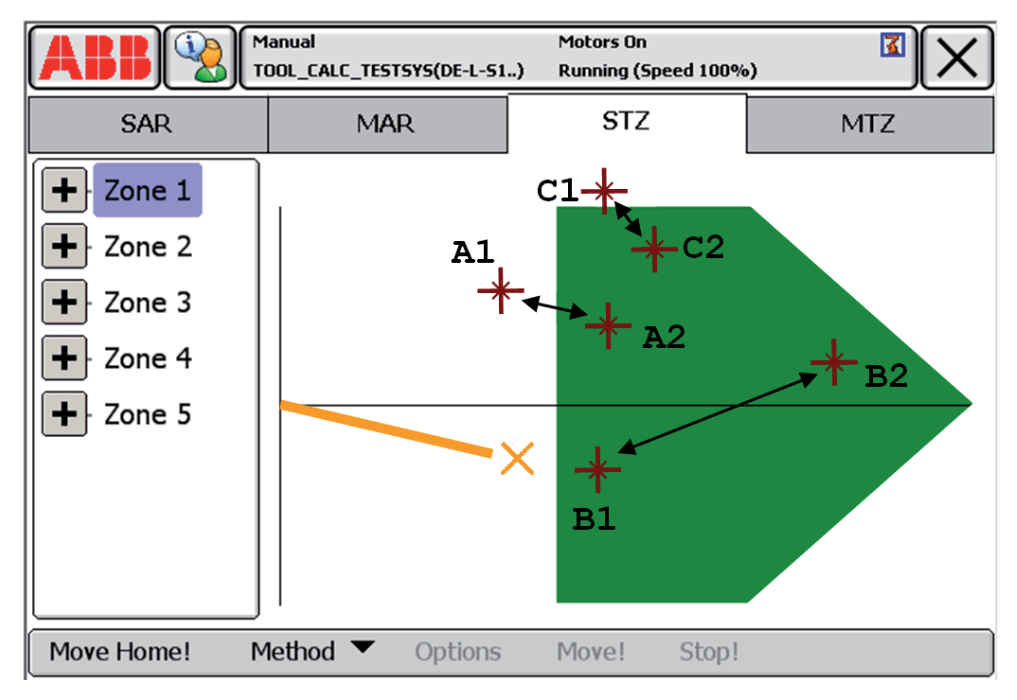


Abbildung 5: Testen von Zonengrenzen und Geschwindigkeitsvorgaben auf dem Bedienhandgerät. Der Roboter kann durch Antippen des Bildschirms an beliebige Positionen verfahren werden

Abbildung 5 zeigt eine manuell konfigurierte Sicherheitszone, deren Grenzen durch Anfahren mehrerer Punkte überprüft werden können:
Die TCP-Position des Roboters wird durch das orange Kreuz markiert. Berühren des Bildschirms im Punkt A1 initiiert eine Bewegung des Roboters zum Punkt A1. Durch Selektieren und Anfahren von Punkten in- und außerhalb der grünen Sicherheitszone (z.B. Punkte A1 und A2 wechselweise; C1 und C2 wechselweise), können die Zonengrenzen validiert werden. Die eingezeichneten Punkte stellen exemplarisch mögliche Trajektorienpunkte dar. Generell kann jedoch auch jeder andere Punkt gewählt werden, der im Arbeitsbereich des Roboters liegt.
In der Registerkarte der Achswinkelbereiche kann der Roboter analog durch Selektieren eines Winkels bewegt werden.

5. Quantitative und Qualitative Auswertung

Im Rahmen verschiedener Testfälle, bei denen unterschiedliche Parameterkonfigurationen mit und ohne grafische Unterstützung und Visualisierung einzurichten waren, konnte das vorgestellte Konzept seine Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen. Betrachtet man zunächst die Zeitersparnis, die aus der Verwendung der in der grafischen Benutzerschnittstelle realisierten Konzepte erwächst, so kann man eine klare Verkürzung des Testvorganges feststellen. Die Zeitersparnis lag je nach Testfall zwischen minimal 16,7% und maximal 42,9%. Die durchschnittliche Zeitersparnis betrug 34%.
Hinzu kommt, dass der Testvorgang aufgrund der detaillierten visuellen Unterstützung sehr viel benutzerfreundlicher und genauer durchgeführt werden konnte. Somit lassen sich auch qualitativ hochwertigere Ergebnisse durch die Visualisierung erzielen.

6. Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag stellt ein Konzept zur Visualisierung von Sicherheitsparametern in Fertigungszellen vor, welches dem Inbetriebnehmer ein schnelles Einrichten von Parametern für Sicherheitssteuerungen ermöglicht.
Hierbei werden zwei Strategien verfolgt: Die Offline-Visualisierung stellt Parameter in einer Visualisierungsumgebung, hier die Software RobotStudio der Firma ABB, dreidimensional dar. Die Online-Visualisierung in der Roboterzelle kommt ohne zusätzliches Equipment aus und nutzt das Bedienhandgerät der Robotersteuerung zur Visualisierung.
Neben der grafischen Oberfläche, auf der die Parameter in Relation zu der Roboterposition angezeigt werden, kann der Roboter entlang Zonen- und Achswinkelbegrenzungen verfahren werden und so Parametergrenzen "anzeigen".
Des Weiteren wurde aufgezeigt, wie Parametertests mit der genannten Oberfläche vorteilhaft und schnell ausgeführt werden können. Die Zeitersparnis gegenüber Tests ohne visuelle Unterstützung lag hierbei zwischen 16,7% und 42,9%; durchschnittlich betrug sie 34%.

7. Referenzen

[1] Krieger, Roland; „Mensch-Roboter-Kooperation - Einrichten von sicheren Fertigungszellen auf Knopfdruck“, Automation 2009; Juni 2009; Baden-Baden

[2] Som, Franz; „Robotersteuerung für sichere Mensch-Roboter-Kooperation“, Workshop Assistierende Roboter, Fachveranstaltung der Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd, August 2007, Lengfurt

8. Autoren

Dipl.-Inf. Roland Krieger

ABB AG, Forschungszentrum Ladenburg
Wallstadter Straße 59
68526 Ladenburg

Telefon: 06203 716 017
Telefax: 06203 716 412
E-Mail: roland.krieger@de.abb.com

Dr. Björn Matthias

ABB AG, Forschungszentrum Ladenburg
Wallstadter Straße 59
68526 Ladenburg

Telefon: 06203 716 017
Telefax: 06203 716 412
E-Mail: bjoern.matthias@de.abb.com



Digitale Prozessentwicklung und Digitale Fabrik

Verkettung von Prozesssimulationen für die virtuelle Produktion

Dipl.-Ing. Daniel Schilberg
Dipl.-Ing. Arno Gramatke
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Henning

Lebenslauf



Dipl.-Ing. Daniel Schilberg

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Zentrum für Lern- und Wissensmanagement
und Lehrstuhl Informationsmanagement im
Maschinenbau der Rhein-Westfälischen
Technischen Hochschule Aachen

Dennewartstraße 27
520 Aachen

Telefon: 0241 8091136
E-Mail: schilberg@zlw-ima.rwth-aachen.de

02.2005	Abschluss des Maschinenbaustudiums mit der Spezialisierung Luft- und Raumfahrttechnik an der Rhein-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen als Diplom-Ingenieur Maschinenbau
03.2005 - 10.2007	Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fakultät für Maschinenwesen der Rhein-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
03.2005 - heute	Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Zentrums für Lern- und Wissensmanagement und Lehrstuhl Informationsmanagement im Maschinenbau der Rhein-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

Verkettung von Prozesssimulationen für die virtuelle Produktion

Dipl.-Ing. Daniel Schilberg, Dipl.-Ing. Arno Gramatke, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Henning

1. Einleitung

Ein produzierendes Unternehmen in einem Hochlohnland muss sich in zwei Spannungsfeldern positionieren. Das erste Spannungsfeld liegt zwischen der Massenproduktion mit einem sehr eingeschränkten Produktspektrum (Scale) und der Fertigung von Produkten mit einem sehr großen Variantenreichtum bei geringen Stückzahlen (Scope). Das zweite Spannungsfeld umfasst die Dichotomie zwischen Planungs- und Wertorientierung. Die Eckpunkte dieser Spannungsfelder bilden das so genannte Polylemma der Produktionstechnik (Abbildung 1) (Schuh 2007). Um einen dauerhaften Wettbewerbsvorsprung gegenüber Niedriglohnländern zu sichern, muss die Forschung das Polylemma verringern oder gar auflösen. Es ist nicht ausreichend, nur einen Eckpunkt singulär zu betrachten und zu optimieren, um den Wunsch der Kunden nach einem individualisierten Produkt zu den Kosten eines Massenprodukts zu erfüllen.

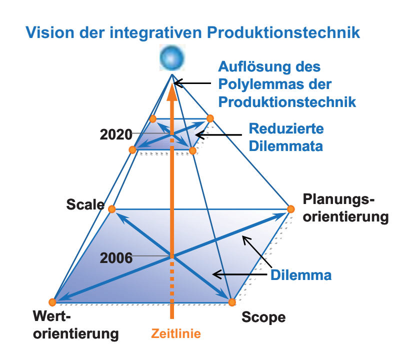


Abbildung 1: Polylemma der Produktionstechnik (Schuh)

Der Exzellenzcluster „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“ der RWTH Aachen University beschäftigt sich mit der Reduzierung des Polylemmas. In dem Teilcluster „Virtuelle Produktionssysteme“ wird die Problematik des zweiten Spannungsfelds thematisiert. Es wird eine Simulationsplattform entwickelt, mit der Simulationen, die im Produkt- oder Fertigungsplanungsprozess eingesetzt werden, zu Simulationsketten verknüpft werden können. Diese Verknüpfung soll den Aufwand für den Einsatz der Simulationen verringern und damit die Ausrichtung von der Planungsorientierung hin zur Wertorientierung verstärken, ohne dass es zu einer Reduzierung der Planungsqualität kommt. Die Herausforderung liegt in der Verknüpfung monolithischer Simulationen, um sinnvoll ganze Produktionsprozesse für die virtuelle Produktion abzubilden (Schilberg 2008).

In diesem Beitrag wird gezeigt, welche Anforderungen die Simulationsplattform erfüllen muss. Hierbei werden Prozesssimulationen wie z. B. das Schweißen oder das Umformen von Bauteilen sowie Mikrostruktursimulationen zur Betrachtung der Gefüge im Bauteil betrachtet, die im Anwendungsfall des folgenden Kapitels verwendet werden. Nach Festlegung der Anforderungen werden aus diesen die für die Plattform benötigten Komponenten abgeleitet. Mit einer Zusammenfassung schließt das Beitrag die Vorstellung der Simulationsplattform ab.

2. Anwendungsfall

Der Herstellungsprozess eines Getriebezahnrads soll durch eine Simulationskette abgebildet werden. Das Getriebezahnrad wird in mehreren Arbeitsschritten gefertigt (Abbildung 2). Ein Rohling wird mehrfach wärmebehandelt und umgeformt, bis ein Zahnrad gefertigt ist. Anschließend erfolgen weitere Wärmebehandlungen, und ein Synchronring wird auf das Zahnrad aufgeschweißt; damit ist der Fertigungsprozess des Getriebezahnrads abgeschlossen. Die für diesen Fertigungsprozess benötigte Simulationskette wird in zwei Ebenen Simulationen erfordern. In der Makrostrukturebene werden Umform-, Wärmbehandlungs- und Schweißsimulationen verwendet. In der Mikrostruktur-ebene werden Simulationen zur Betrachtung der Mikrostrukturen eingesetzt. Des Weiteren werden auf einer Transferebene Mikrostrukturdaten für die Makrostruktur-ebene homogenisiert.

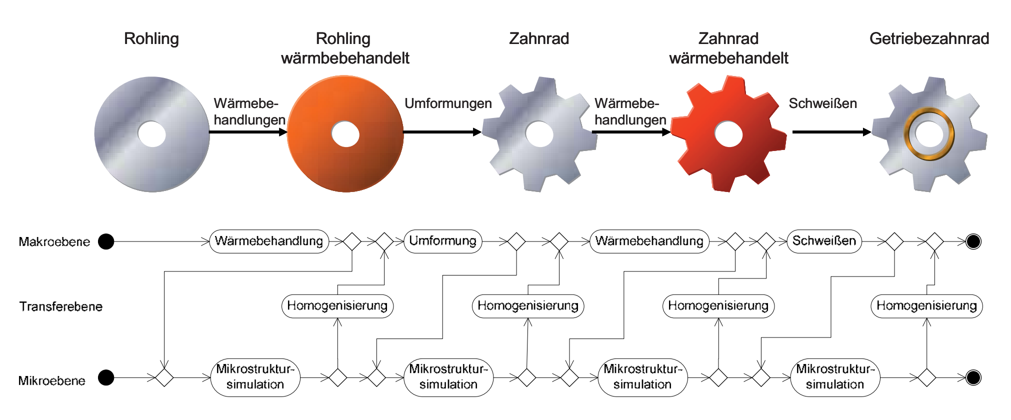


Abbildung 2: Anwendungsfall Getriebezahnrad

Die eingesetzten Softwarewerkzeuge, die für die Simulationskette verwendet werden, sind monolithische Softwareanwendungen ohne gemeinsame Schnittstellen, Datenformaten, -strukturen und -repräsentation. Im folgenden Kapitel wird gezeigt welche Anforderungen sich aus der Kopplung dieser monolithischen Simulationen ergeben. Der Fokus liegt hierbei bei der Umsetzung der syntaktischen Verknüpfung (Datenformate und -strukturen) und der semantischen Verknüpfung (Datenrepräsentation und Bedeutung).

3. Anforderungen an eine Simulationsplattform

Die Anforderungen an eine Simulationsplattform zur Verkettung von den in Kapitel 2 vorgestellten Simulationen teilen sich in funktionale und nichtfunktionale Anforderungen. Die wichtigsten Anforderungen fokussieren sich auf die syntaktische und semantische Kopplung der beteiligten Softwareanwendungen (Schilberg 2008). Darüber hinaus werden eine Mensch-Maschine-Schnittstelle und eine Möglichkeit zur Anbindung von Simulationen an die Plattform benötigt. Die Anforderungen zu den beiden letztgenannten Punkten werden in diesem Beitrag nicht thematisiert.

Basis der Kopplung der Simulationen ist es, die Ausgaben und Eingaben der eingesetzten Simulationen lesen, schreiben und deren Inhalt deuten zu können. Dafür muss auf der Syntaxebene ein Verständnis für die Dateiformate und -strukturen der Simulationsdaten (sowohl Eingabe als auch Ausgabe) vorhanden sein. Denn die Simulationsdaten können z. B. binär oder im ASCII-Format vorliegen und Schlüsselworte oder Offsets zur Sortierung der Inhalte verwenden. Auf der semantischen Ebene müssen die Bedeutungen von Parametern bekannt sein. Das folgende Beispiel zeigt, dass für eine Verknüpfung der Simulationen die

folgenden beschriebenen Anforderungen essentiell sind. Parameter wie z. B. das Material werden in einer Simulation durch eine Zahl (z. B. 5) und in einer anderen Simulation durch die Materialbezeichnung (z. B. X2CrNi12) gekennzeichnet.

Innerhalb der zu simulierenden Prozesskette muss auf alle bereits vorliegenden Simulationsdaten zugegriffen werden können, um Daten auszuwählen und zu manipulieren. Für die Speicherung der Simulationsdaten soll ein allgemeines Datenformat verwendet werden, damit Datenmanipulationen nicht die originalen Simulationsdaten verändern. Daher müssen alle Simulationsdaten in das und aus dem allgemeinem Datenformat konvertiert werden können. Hierfür müssen die Datenstrukturen der Dateien analysiert und verglichen werden. Innerhalb des allgemeinen Datenformats ist es für die syntaktische Kopplung notwendig, die von den Simulationen verwendeten bzw. erzeugten Parameter und deren Werte zu vergleichen. Für die semantische Kopplung müssen darüber hinaus die Parameterbedeutungen gegenübergestellt werden können. Die Generierung von fehlenden Parametern, die aus bekannten Parametern errechnet werden können, muss ermöglicht werden. Die Kopplung der Simulationen zu einer Simulationskette muss automatisch ablaufen, um den Arbeitsaufwand für den Einsatz von Simulationsketten zu reduzieren. Daher ist es erforderlich, dass die zuvor beschriebenen Konvertierungen, Generierungen und Vergleiche innerhalb der Simulationsplattform ohne manuelle Arbeitsschritte vonstattengehen.

Die nichtfunktionalen Anforderungen an die Simulationsplattform wurden in Workshops mit den Anwendern ermittelt und werden im Folgenden kurz zusammengefasst: Ein modularer Aufbau soll die Verwendung alternativer Komponenten ermöglichen. Erweiterbarkeit und Flexibilität sollen das Anbinden von weiteren Simulationen an die Plattform gestatten. Eine automatisierte Bedienung sowie ein hoher Grad an Konfigurierbarkeit der Plattform sind neben einer geringen Datenverarbeitungsdauer und einer hohen Zuverlässigkeit Anforderungen, die erfüllt werden müssen.

Kapitel vier stellt basierend auf den Anforderungen dar, wie die Systemarchitektur der Plattform gestaltet ist und mit welchen Komponenten die Erfüllung der Anforderungen konkret umgesetzt wird.

4. Simulationsplattform zur Verkettung von Prozesssimulationen

4.1. Architektur der Simulationsplattform

Die Systemarchitektur für die Simulationsplattform wird in Abbildung 3 dargestellt. Die Komponenten der Plattform sind das Web Interface, die Visualisierung, der Daten-Integrator und die Middleware. Das Web Interface ist Teil der Mensch-Maschine-Schnittstelle zu der auch die Visualisierung gehört. Es dient der Bedienung der Plattform durch den Anwender; hier werden die Prozessketten, die simuliert werden sollen, zusammengestellt und Simulationsdaten, die nicht durch die Plattform bereitgestellt werden können, abgefragt. Die Visualisierung stellt die Simulationsergebnisse einzeln oder vergleichend dar. So können z. B. die Ergebnisse von parallel ablaufenden Simulationen auch parallel und verknüpft dargestellt werden. Die Middleware dient zum Datenaustausch zwischen der Plattform und den über ein Netzwerk verteilten Simulationen. Der Daten-Integrator wird benötigt, um die in Kapitel 2 spezifizierten Anforderungen an die syntaktische und semantische Kopplung zu realisieren. Des Weiteren speichert der Daten-Integrator über eine Datenmanagement-Komponente alle Simulationsdaten ab. Die Daten werden mit einer eindeutigen Identifikationsnummer (ID) markiert. Die Prozess-ID, der Prozessschritt und der jeweilige Simulationszeitschritt werden ergänzt, um die Produktionshistorie nachverfolgen zu können. Die Konverter und

das Enrichment greifen über die Datenmanagement-Komponente auf die gespeicherten Informationen und Daten zu. Die Kommunikation des Daten-Integrators mit den übrigen Komponenten der Plattform wird durch eine Datenintegrationskontrolle gesteuert, die wie ein Datenbus die Ansteuerung der Daten-Integrator Komponenten administriert. Da die Komponenten Datenmanagement und Datenintegrationskontrolle administrative Aufgabe erfüllen, werden sie in diesem Paper nicht näher beleuchtet.

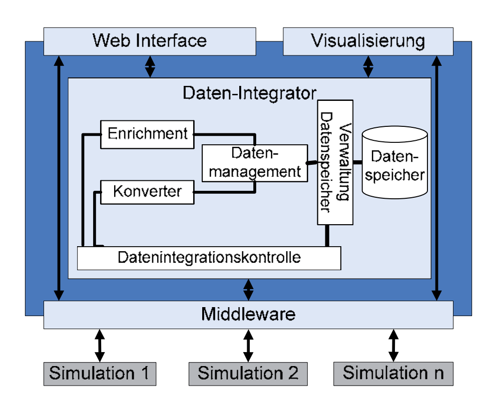


Abbildung 3: Systemarchitektur der Simulationsplattform

Die in Abbildung 3 dargestellten Basiskomponenten des Daten-Integrators für die syntaktische und semantische Kopplung werden in den Kapiteln 4.2 und 4.3 in ihrer Funktionsweise detaillierter betrachtet. Der Daten-Integrator verwendet für diese Aufgabe Konverter (Parser und Sequenzer), die durch Konvertierung der Datenformate und -strukturen die syntaktische Kopplung realisieren. Die Enrichment-Komponente ermöglicht durch den Einsatz einer Wissensbasis und eines semantischen Mappers die semantische Kopplung (Arnarsdóttir 2006).

4.2. Konverter

Monolithisch entwickelte Simulationen verwenden spezielle Ein- und Ausgabe-formate mit bestimmten Datenformaten und -strukturen. Damit eine Simulation die Daten einer anderen Simulation einlesen kann, müssen diese aus den Ursprungs-datenformaten und -strukturen in die erforderlichen Formate und Strukturen konvertiert werden (Zhang 2005). Da je nach zu simulierender Prozesskette die Simulationen in unterschiedlichen Reihenfolgen innerhalb der Plattform eingesetzt werden können, ist es nicht sinnvoll, für die syntaktische Kopplung der einzelnen Simulationen untereinander jeweils einen Konverter zu verwenden, da dadurch die Anzahl der Konverter mit jeder weiteren zu integrierenden Simulation exponentiell (n^2-n) steigen würde. Stattdessen werden zwei konfigurierbare Konverter verwendet. Ein Parser konvertiert die Ausgabedaten der einzelnen Simulationen, die in speziellen Formaten vorliegen, in ein allgemeines Format. Ein Sequenzer wiederum konvertiert aus dem allgemeinen Format die speziellen Einbgangsformate der jeweiligen Simulationen. Als allgemeines Format wird für den Daten-Integrator das Visualization Toolkit (VTK)-Format (Kitware 2008) verwendet. Durch die Verwendung des allgemeinen Datenformats hat man darüber hinaus alle Simulationsdaten in einem Format vorliegen und kann damit wiederholt auf diese ohne weitere Konvertierungen für Datenmanipulationen zugreifen. In Abbildung 4 ist die Funktionsweise der Konverter dargestellt. Alle Konvertierungs-routinen, die für die im Daten-Integrator integrierten Simulationen benötigt werden, sind in einer Bibliothek für Parser und Sequenzer hinterlegt. Über eine Konfigurationsdatei, die für jede durchzuführende Konvertierung vorliegen muss, wird festgelegt, welche Konvertierungsroutinen verwendet werden. Der Parser liest die Konfigurationsdatei und die entsprechende Simulationsausgabedatei ein und schreibt alle Daten in das VTK-Format. Im VTK-Format können die Daten durch

das im folgenden Kapitel beschriebene Enrichment weiterverarbeitet werden. Der Sequenzer liest analog zum Parser eine Konfigurationsdatei ein und generiert auf Basis dieser Konfiguration aus den Daten im VTK-Format die geforderte neue Simulationseingabedatei.

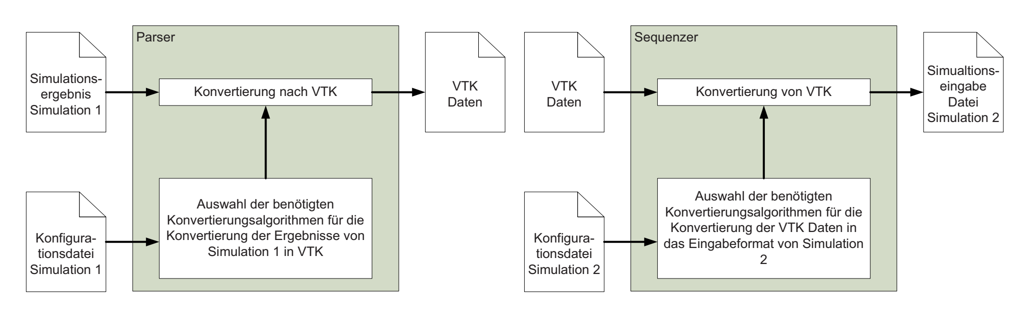


Abbildung 4: Konfigurierbare Konverter

4.3. Enrichment

Die Enrichment-Komponente des Daten-Integrators realisiert mit einem semantischen Mapper (Abbildung 5) die semantische Kopplung der Simulationen. Die Simulationen werden jeweils zur Darstellung durch eine Klasse repräsentiert. Die Klasse besteht aus dem Simulationsnamen, den Simulationsattributen (Parameterwerte) und den Simulationsalgorithmen, mit denen aus den Eingabeparametern die Ausgabeparameter berechnet werden. Diese Informationen werden in eine Wissensbasis überführt. Der semantische Mapper greift für Vergleiche auf diese Wissensbasis, die im Enrichment hinterlegt ist, zu (Noy 2001). Der Zugriff kann über einen Planer, eine Inferenzmaschine oder einen Hybriden aus Planer und Inferenzmaschine realisiert werden. Für den vorliegenden semantischen Mapper wird eine hybride Lösung verwendet. In der Wissensbasis sind Parametertabellen mit ihren Abhängigkeiten für alle im Daten-Integrator integrierten Simulationen in Form einer Ontologie hinterlegt (Tudorache 2008).

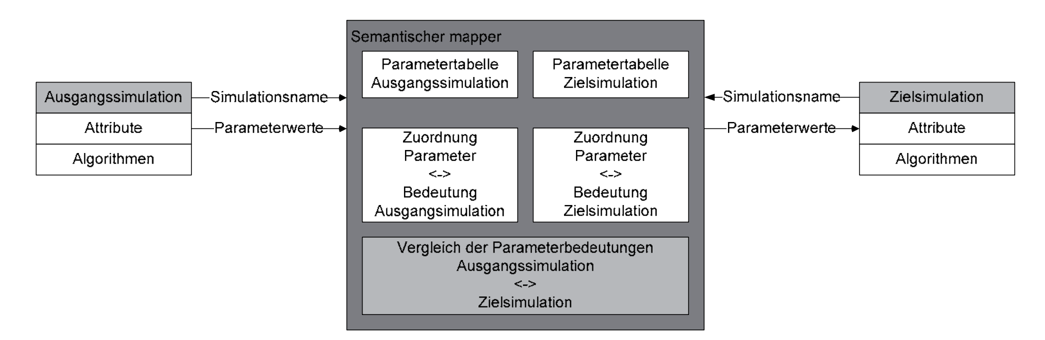


Abbildung 5: Semantische Kopplung

Aus dieser Ontologie kann die Bedeutung einzelner Parameter abgeleitet werden, womit es dem semantischen Mapper möglich ist, die jeweiligen Parameterwerte ihrer Bedeutung zuzuordnen und die Parameterbedeutungen der Simulationen, die verknüpft werden sollen, zu vergleichen. Für diesen Vergleich wird zuerst überprüft, ob die Bedeutungen unmittelbar übereinstimmen. Sollte dies der Fall sein, können die Parameterwerte direkt an die Konverter weitergegeben werden. Bei keiner unmittelbaren Übereinstimmung wird geprüft, ob die geforderten Parameterwerte aus den bereits vorliegenden Daten generiert werden können. Ist dies der Fall, so werden die Parameterwerte erzeugt. Sollte dies nicht möglich sein, müssen die Daten über das Web Interface durch den Anwender zur Verfügung gestellt werden. Die über das Web Interface ergänzten Daten werden ebenfalls gespeichert. Sämtliche Operationen des Enrichment verwenden Daten

die im VTK-Format vorliegen. Die simulationsspezifischen Informationen Parametereinheit und -bedeutung und Prozesszusammenhang werden bei der Integration in die Simulationsplattform in die Wissensbasis überführt und durch das Enrichment auf sinnvoll übertragbare Werte überprüft. Damit liegen den Simulationen alle zuvor ermittelten Parameter und Parameterwerte und die damit verbundenen Erkenntnisse vor. So wird bei jedem weiteren Prozessschritt, der simuliert wird, die gesamte Prozesshistorie berücksichtigt. Dies führt letztendlich zu einer besseren Datenbasis für alle eingesetzten Simulationen.

5. Zusammenfassung

Der Bedarf nach einer semantischen Kopplung von verteilten, numerischen Simulationen entsteht aus der Notwendigkeit, den Planungsaufwand für Produktionsprozesse zu reduzieren. Hierzu müssen die geplanten Produktionsprozesssimulationen ein Höchstmaß an Flexibilität aufweisen. Die Forschung an der semantischen Kopplung zur Realisierung der Simulation von Prozessketten verspricht, den Einblick und den Erkenntnisgewinn über die technischen und wissenschaftlichen Zusammenhänge in der Produktion zu erhöhen und damit eine Verbesserung der Produktqualität und eine Reduzierung der Produktionskosten zu ermöglichen. In dieser Arbeit wurde die Architektur einer Simulationsplattform zur Verkettung von Prozesssimulationen vorgestellt. Die Realisierung der semantischen Verknüpfung der eingesetzten Simulationen reduziert die Gefahr von Erkenntnisverlusten. Die Simulationsplattform, in der eine erweiterbare modular aufgebaute Wissensbasis hinterlegt ist, kann um einzelne Simulationen und damit Produktionsprozessschritte ausgebaut werden. Dies ermöglicht es, weitere Herstellungsprozesse komplett zu simulieren.

6. Literatur

Arnarsdóttir, K., Berre, A.-J., Hahn, A., Missikoff, M., Taglino, F., 2006, Semantic mapping: ontology-based vs. model-based approach Alternative or complementary approaches?, Proceedings of the Open Interop Workshop on Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability, Luxembourg.

www.kitware.com 2008

Noy, Natalya F., McGuinness, Deborah L., 2001, Ontology Developement 101: A Guide to Creating Your First Ontology, Stanford.

Schilberg, Daniel, Gramatke, Arno, Henning, Klaus, 2008, Semantic Interconnection of Distributed Numerical Simulations Via SOA, Proceedings World Congress on Engineering and Computer Science 2008, Hong Kong.

Schuh, Günther, Klocke, Fritz, Brecher, Christian, Schmidt, Robert, 2007, Excellence in Production, Aachen.

Tudorache, Tania, 2008, Ontologies in Engineering, Saarbrücken.

Zhang, Lin, Gu, Jin-Guang, 2005, Ontology Based Semantic Mapping Architecture, Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou.

7. Autoren

Dipl.-Ing. Daniel Schilberg
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Zentrum für Lern- und Wissensmanagement
Lehrstuhl Informationsmanagement im Maschinenbau
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Dennewartstraße 27
52068 Aachen

E-Mail: schilberg@zlw-ima.rwth-aachen.de
Telefon: 0241 80911 36
Telefax: 0241 80911 22

Dipl.-Ing. Arno Gramatke
Leiter des Bereichs Ingenieur-Informatik

Zentrum für Lern- und Wissensmanagement
Lehrstuhl Informationsmanagement im Maschinenbau
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Dennewartstraße 27
52068 Aachen

Telefon: 0241 80911 30
Telefax: 0241 80911 22
E-Mail: gramatke@zlw-ima.rwth-aachen.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Henning
Leiter des Zentrums für Lern- und Wissensmanagement/
Lehrstuhl Informationsmanagement im Maschinenbau

Zentrum für Lern- und Wissensmanagement
Lehrstuhl Informationsmanagement im Maschinenbau
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Dennewartstraße 27
52068 Aachen

Telefon: 0241 80911 11
Telefax: 0241 80-911 22
E-Mail: henning@zlw-ima.rwth-aachen.de

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Digitale Prozessentwicklung und Digitale Fabrik

Virtuelle Absicherung von Verkettungs-automatisierung mittels mobiler Roboter

Dipl.-Ing. Stephan Husung
Dipl.-Ing. Christian Rössel
Prof. Dr.-Ing. Christian Weber
Dr.-Ing. Udo Henkel
Dipl.-Ing. Matthias Roth

Lebenslauf



Dipl.-Ing. Stephan Husung

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Fachgebiet Konstruktionstechnik
Max-Planck-Ring 12
98693 Ilmenau

Telefon: 03677 695078
E-Mail: stephan.husung@tu-ilmenau.de

2000-2005	Studium Maschinenbau Spezialisierung: Maschinenkonstruktion Rechneranwendung im Maschinenbau
2001	Praktikum bei der Firma RMA – TSK Kunststoffsysteme GmbH & Co. KG in Sömmerda
2003	Teamleiter eines universitätsübergreifenden Konstruktionsmethodik-Projektes im Rahmen von Pro-Teach-Net
2004-2005	Fachpraktikum bei der Robert Bosch GmbH in Waiblingen
Seit 2005	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Technischen Universität Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, Fachgebiet Konstruktionstechnik Kompetenzzentrum Virtual Reality Aufgabenbereich „Virtuelle Produktentwicklung“

Virtuelle Absicherung von Verkettungsautomatisierung mittels mobiler Roboter

Dipl.-Ing. Stephan Husung, Dipl.-Ing. Christian Rössel, Prof. Dr.-Ing. Christian Weber, Dr.-Ing. Udo Henkel, Dipl.-Ing. Matthias Roth

1. Einleitung

Industrieunternehmen sind bestrebt, sämtliche Arbeitsabläufe rationell zu gestalten und neue Arbeitsmittel und Prozesse zu entwickeln, um die Produktionskosten von Gütern zu senken. Seit den siebziger Jahren wurden deshalb im Bereich der Fertigung viele Arbeitsmittel automatisiert, um die Wettbewerbsfähigkeit von produzierenden Unternehmen zu verbessern. Hierfür wurden Maschinen entwickelt, welche die entstehenden Produktionskosten reduzieren, die Qualität verbessern, die Produktionsmenge erhöhen und Personen von monotonen, körperlich anstrengenden und gesundheitsgefährdenden Arbeiten entlasten sollen. Beispiele dieser Automatisierungsbemühungen sind Werkzeugmaschinen, flexible Fertigungszellen und Industrieroboter, welche einen wesentlichen Beitrag für die Automatisierung der Fertigung leisteten. Eine weitergehende Möglichkeit zur Rationalisierung des Produktionsablaufes ist die Automatisierung des Materialflusses. Dabei besteht oftmals das Ziel, die Verkettung möglichst flexibel zu gestalten.
Auf Basis dieser Problemstellungen entwickelte die Firma HENKEL + ROTH GmbH das Konzept eines flurgebundenen Unstetigkeitsförderers in Form eines mobilen Roboters. Dieser kann mit eigener Energieversorgung und integrierter Steuerung autonom zwischen verschiedenen Fertigungsstationen verfahren und über geeignete Handlingsysteme unterschiedlichste Manipulationen an Werkstücken ausüben.
Bevor derartige Systeme auf dem Markt etabliert werden können, müssen unterschiedlichste Machbarkeitsstudien durchgeführt werden. So müssen die durch den Roboter möglichen Taktzeiten und Positioniergenauigkeiten unter praxisnahen Bedingungen ermittelt, mit anderen Realisierungsmöglichkeiten verglichen und hinsichtlich der Aufgabenbereiche optimiert werden. Weiterhin ist für verschiedene Fertigungsstationen die Zugänglichkeit zu den teilweise sehr komplexen Werkstücken abzusichern, die von zahlreichen Parametern abhängt (Abmessungen des Roboters, Anzahl der Bewegungsachsen, Bewegungsbereiche, Gestalt der Fertigungsstationen).
Für derartige Untersuchungen existieren mehrere Simulationswerkzeuge, die oftmals jedoch nicht mit der komplexen Geometrie der Fertigungsstationen sowie der Werkstücke und einer größeren Anzahl von Fertigungsstationen arbeiten können. Daher war es das Ziel des gemeinsamen Projektes, die Absicherung unter Nutzung von Virtual Reality mit einer geeigneten Visualisierung der Ergebnisse durchzuführen. Hierfür wurde das VR-Modell mit Beschreibung der Kinematik des Roboters sowie dem Bewegungsbereich der Achsen nachgebildet und der Prozess iterativ optimiert. Zur Simulation der inversen Kinematik wurde ein externes Simulationsprogramm angebunden.
Das Ergebnis zeigt die Simulation des Handlingprozesses von größeren Kunststoffgussteilen zwischen Fertigungsstationen. Somit konnte die Machbarkeit nachgewiesen werden. Der erste Praxiseinsatz des mobilen Roboters ist für 2009 vorgesehen. In einem ersten Probeeinsatz beim Bestücken von Montageautomaten konnte die Richtigkeit der durchgeführten Simulation nachgewiesen werden. Die Nutzung des Roboters zeigt jedoch auch Optimierungspotential für die Simulation, um für weitere Einsatzgebiete die Absicherung auszubauen.

2. Motivation

Für die Verkettung von Montagestationen werden aus ökonomischen und technischen Gründen heute bereits Fördersysteme in unterschiedlichen Ausführungen eingesetzt. Speziell in hochautomatisierten Fertigungsstraßen werden oft stationäre, flurgebundene, aufgeständerte oder flurfreie Fördersystem eingesetzt. Aufgrund der großen und flexiblen Bewegungsbereiche findet man in diesem Zusammenhang oft auch Roboter. Durch die Ansteuerung mehrerer Bewegungsachsen können effizient Handlingoperationen mit dem Werkstück in unterschiedlichen Maschinen durchgeführt werden.
Im Bereich der One-Piece-Flow-Montage haben mobile Roboter durch das Hinzufügen einer Transporteinheit neben den Vorteilen klassischer Systeme die Vorteile eines vergrößerten Bewegungsbereiches sowie des flexiblen Einsatzes an unterschiedlichen Stationen (siehe Abbildung 1) [6].



Abbildung 1: Modell des Einsatzes mobiler Roboter

Unter Nutzung der Kombinatorik von Varianten der Fahrplattform und der Handlingsysteme lassen sich mobile Roboter für unterschiedliche Einsatzzwecke konfigurieren. Während der Entwicklung steht daher die Aufgabe der Findung einer geeigneten Konfiguration, welche die Anforderungen hinsichtlich Bewegungsbereich, Zugänglichkeit, Handhabungsgewicht und Genauigkeit erfüllt. Aus ökonomischer Sicht ist ein weiteres Kriterium die erreichte Zykluszeit des Roboters unter Berücksichtigung möglicher Ruhezeiten während der Werkstückbearbeitung.

Die Findung einer optimalen Lösung ist aufgrund unterschiedlicher Werkstücke mit komplexer Geometrie, unterschiedlichen Bearbeitungslagen in den Werkzeugmaschinen sowie der Zugänglichkeit oftmals sehr aufwendig. Daher ist für die Durchführung der Aufgabe ein Einsatz von Simulationen sinnvoll. Durch die Nutzung von immersiven Präsentationstechniken zur Visualisierung der Simulationen können viele mögliche Probleme, wie z.B. Kollisionen, effizient erkannt werden.

3. Modell

Für die Durchführung von Robotersimulationen gibt es zahlreiche Werkzeuge, die für verschiedene Fragestellungen sehr gute Ergebnisse liefern [1, 2, 3, 4]. Die Nutzung von Simulationssoftware der Roboter-Hersteller bietet den Vorteil, dass die vorhandenen zulässigen Achsbelastungen, Verfahrgeschwindigkeiten sowie Achsdrehwinkel in den Modellen hinterlegt sind.
Im Rahmen des Projektes wurde für die Simulation der inversen Roboterkinematik die Software der Firma Neobotix eingesetzt. In der Simulation werden die Verfahrbewegungen zwischen den Stationen sowie das Handling zunächst separat behandelt und in der Gesamtsimulation kinematisch zusammengesetzt (siehe Abbildung 2). Für die Handlingoperationen werden geforderte Stützpunkte vorgegeben, für welche die Software eine Bahnplanung vornimmt. Die Planung kann manuell nachbearbeitet werden, so dass spezifische Anforderungen berücksichtigt werden können.

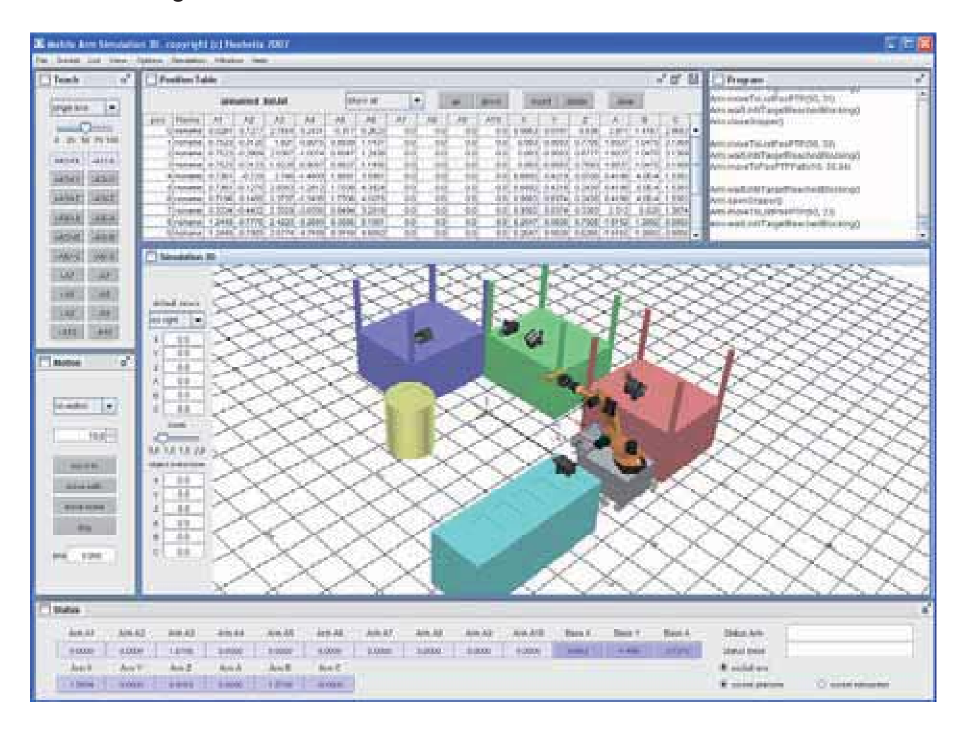


Abbildung 2: Oberfläche der Simulationssoftware von Neobotix

Da die Software von Neobotix keine sehr großen Datenmengen verarbeiten kann, die Werkstücke jedoch komplexe Kunststoff-Spritzgussteile, mit größerer Stückzahl über die Stationen verteilt, waren und schließlich die Montagestationen im Handlingbereich zahlreiche Bauteile besaßen, musste für den Simulationssolver ein vereinfachtes Modell aufgebaut werden. Dieses berücksichtigte vor allem die geometrischen Koppelstellen der Werkstücke sowie die Grobabmessungen der Maschinen.

Die Simulation liefert für alle Achsen des mobilen Roboters Winkel- bzw. Positionsdaten, die über eine Schnittstelle als Transformationen auf das VR-Modell projiziert werden konnten. Das VR-Modell konnte auf Basis der vorhandenen CAD-Daten der Werkstücke, der Maschinen inklusive der Werkstückaufnahmen mit hinterlegter Kinematik sowie dem Roboter aufgebaut werden (Abbildung 3). Mittels einer Umstrukturierung des Modells konnte über die VR-Modellstruktur die offene kinematische Kette abgebildet werden. Dies hat den Vorteil, dass die Transformationen einfach auf das VR-Modell übertragen werden können.

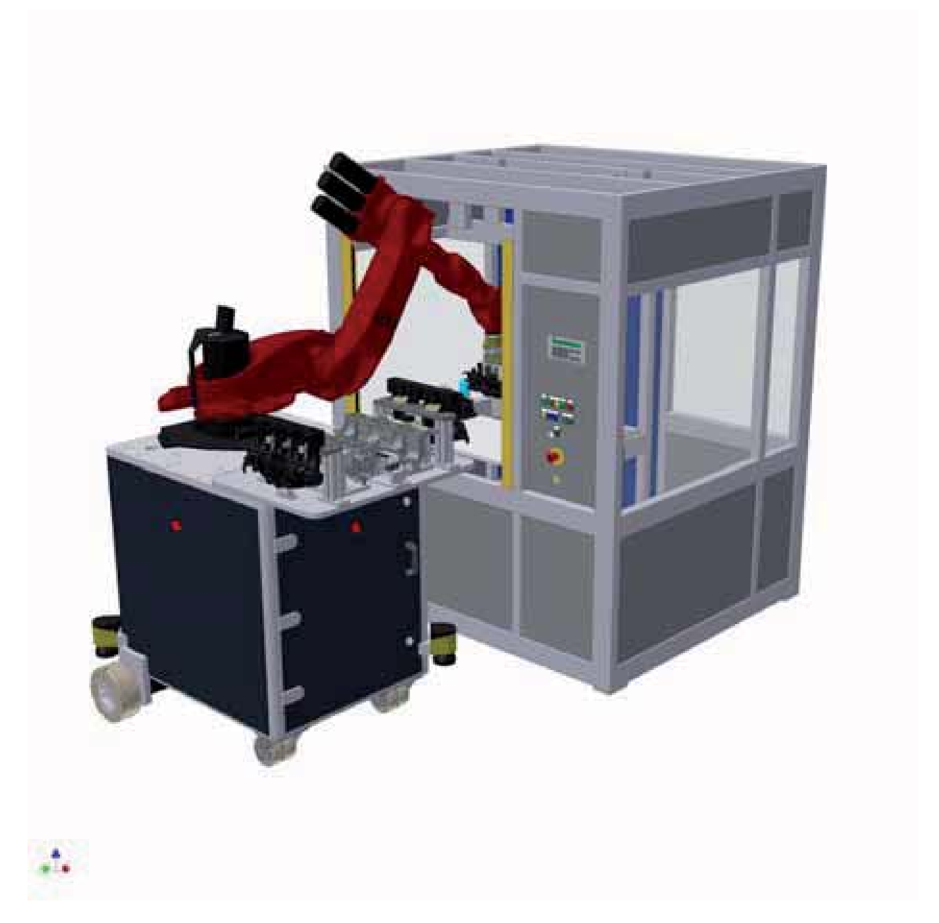


Abbildung 3: Bild des VR-Modells vom mobilen Roboter mit einer Arbeitszelle und Werkstücken

An der TU Ilmenau wurde für die Anbindung derartiger Simulationen ein flexibles Framework entwickelt, welches das Steuern des VR-Modells mittels einfacher Befehle unter Nutzung eines OSC-Protokolls [5] ermöglicht.

Die Visualisierung der Simulationsergebnisse im VR unter Nutzung realitätsnaher Geometrien zeigte Kollisionen auf, die von der Simulationssoftware aufgrund der vereinfachten Geometrie nicht berücksichtigt werden konnten. Weiterhin wurden durch die Visualisierung mögliche Probleme bei der Handhabung der Werkstücke während des Einsetzens in die Maschine erkannt, die so frühzeitig behoben werden konnten.

Unter Nutzung der gekoppelten Simulation konnte eine Analyse der Zykluszeit durchgeführt werden. Durch eine Optimierung der Verfahr- und Handling-Strategie war es möglich, den Roboter effizienter auszulasten, so dass keine Wartezeiten an den einzelnen Stationen entstehen.

4. Aufbau des physischen mobilen Roboters

Im Anschluss an die erfolgreiche Simulation und Optimierung im VR wurde von der Firma HENKEL + ROTH ein physischer Prototyp des mobilen Roboters gebaut und in einer typischen Arbeitsumgebung getestet. Anhand des Prototypen konnten die Simulationen validiert und weitere Erkenntnisse gewonnen werden (Abbildung 4).



Abbildung 4: Foto des physischen mobilen Roboters

Die Untersuchungen am physischen Prototypen zeigen, dass die durchgeführte Simulation hinsichtlich der Kinematik gute Ergebnisse erzielte. Die Erkenntnisse aus der Simulation konnten direkt in die Programmierung des Roboters einfließen, so dass weniger Iterationen am realen System notwendig waren.
Die Arbeit mit dem realen System zeigt jedoch auch, dass viele Problemstellungen anhand des virtuellen Prototypen noch nicht ersichtlich waren. Dies betrifft vor allem das Fehlverhalten bei vorhandenen Toleranzen aufgrund der Bodenbeschaffenheiten oder der Relativlagenbestimmung zum Werkstück vor dem Handling.

5. Zusammenfassung

Der Beitrag zeigt eine Praxisanwendung der VR-Technologie im Bereich der flexiblen Verkettung von Montagestationen mit mobilen Robotern. Unter Nutzung von VR konnten viele Probleme auf Basis des virtuellen Prototypen untersucht und behoben werden. Dies erleichterte den Aufbau des physischen Prototypen erheblich. Im Rahmen des Projektes wurden allerdings auch Defizite der derzeitigen Simulation ersichtlich, da derzeit noch nicht alle Prozesse realitätsnah nachgebildet werden können. Die Verbesserung der Simulation ist eine Aufgabe in fortzuführenden Untersuchungen.

6. Literatur

[1] Anton, Stefan, 2004, 15. Oktober, Inverse Kinematik am Robotersimulationsprogramm, EASY-ROB™, Workshop Robotik, Hochschule Mittweida (FH), Institut für Automatisierungstechnik.

[2] Liepert, Bernd, 2008, Höhere Planungssicherheit und Effizienz in der Robotik durch virtuelles Engineering, IFF-Wissenschaftstage, Fraunhofer IFF, Magdeburg.

[3] Roßmann, J., Schluse, M., 2005, Synergieeffekte von Robotik- und VR/AR-Entwicklung, Gastvortragsreihe Virtual Reality, Fraunhofer IFF, Magdeburg.

[4] Neobotix Webpage, 2009, http://www.neobotix.de

[5] Wright, Matt, 2004, Brief Overview of OSC and its Application Areas, OSC Conference, Berkeley, CA, USA.

[6] Rössel, Christian, 2008, Flexible Verkettung von halbautomatischen Montageautomaten, Diplomarbeit, Fachgebiet Konstruktionstechnik, Technische Universität Ilmenau.

7. Autoren

Dipl.-Ing. Stephan Husung
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Fachgebiet Konstruktionstechnik
Max-Planck-Ring 12
98693 Ilmenau

Telefon: 03677 69 5078
E-Mail: stephan.husung@tu-ilmenau.de

Dipl.-Ing. Christian Rössel

HENKEL + ROTH GmbH
Gewerbepark Am Wald 3d
98693 Ilmenau

Telefon: 03677 6439 0
Telefax: 03677 6439 99
E-Mail: c.roessel@henke-roth.de

Prof. Dr.-Ing. Christian Weber
Fachgebietsleiter

Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Fachgebiet Konstruktionstechnik
Max-Planck-Ring 12
98693 Ilmenau

Telefon: 03677 69 2472
Telefax: 03677 69 1259
E-Mail: christian.weber @tu-ilmenau.de

Dr.-Ing. Udo Henkel
Geschäftsführer

HENKEL + ROTH GmbH
Gewerbepark Am Wald 3d
98693 Ilmenau

Telefon: 03677 6439 0
Telefax: 03677 6439 99
E-Mail: u.henkel@ henke-roth.de

Dipl.-Ing. Matthias Roth
Geschäftsführer

HENKEL + ROTH GmbH
Gewerbepark Am Wald 3d
98693 Ilmenau

Telefon: 03677 6439 0
Telefax: 03677 6439 99
E-Mail: m.roth@ henke-roth.de





Digitale Prozessentwicklung und Digitale Fabrik

Einsatz der VR-Technologie im Plant Lifecycle der chemischen Industrie

Dipl.-Ing. Axel Franke

Lebenslauf



Dipl.-Ing. Axel Franke

Senior Engineering Manager

BASF SE
WLD/BA - L950
67056 Ludwigshafen

Telefon: 0621 60 52976
E-Mail: axel.franke@basf.com

* 21.02.1968	In Heidelberg
Bis 09.1995	Schulausbildung Grundstudium Informations- und Wirtschaftswissensschaft sowie Physik an den Universitäten Kaiserslautern und Heidelberg Studium des Maschinenbaus mit Schwerpunkt Verfahrenstechnik an der Berufsakademie Mannheim in Kooperation mit BASF (duales Studium)
10/1995 bis 2003	Betriebsingenieurassistent u. Betriebsingenieur verschiedener Produktionsanlagen für anorganische Grundchemikalien am Standort Ludwigshafen
2003 bis 2007	Engineering- und Project Manager Site Engineering Ludwigshafen. Planung und Abwicklung von Neubau- und Revampprojekten im Bereich der Alkoholate-, Natrium- und Salpetersäureanlagen.
Seit 2007	Leitung der Fachstelle Rohrleitungstechnik / Rohrleitungs- und 3D-Planung beim Servicecenter Betriebstechnik Zentralfunktionen im Unternehmensbereich Verbundsitemanagement Europe.

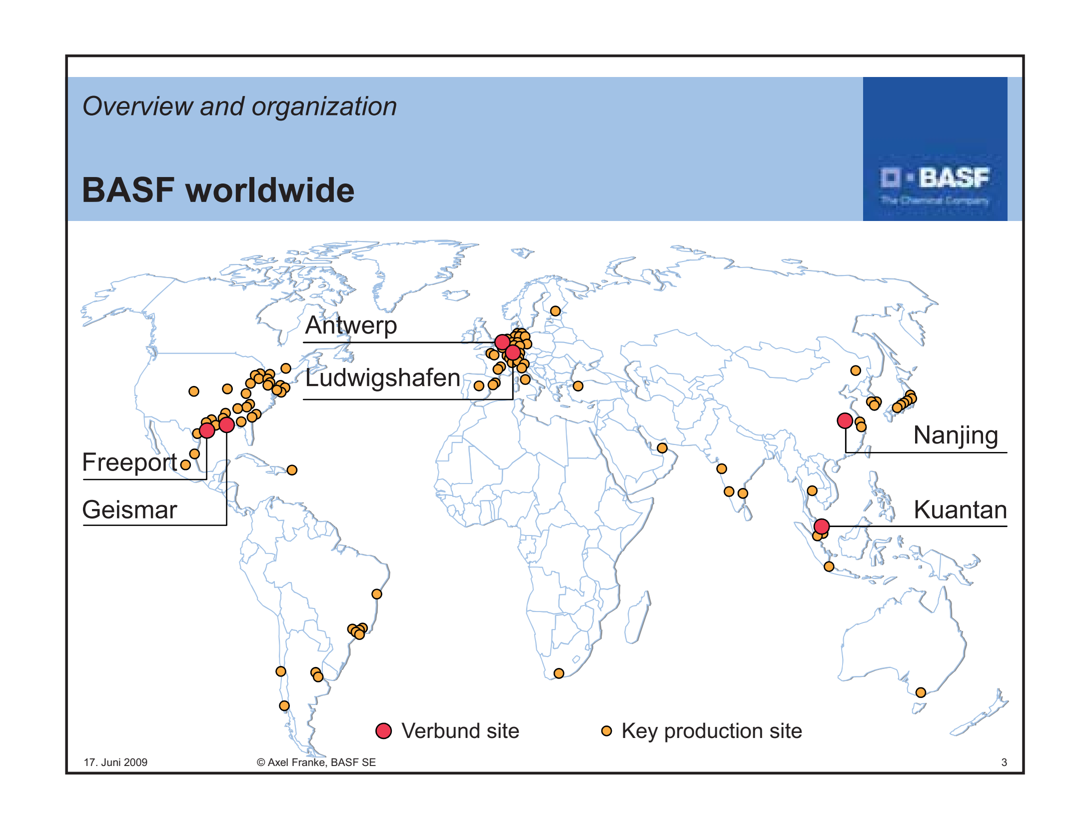
Einsatz der VR-Technologie im Plant Life Cycle der chemischen Industrie

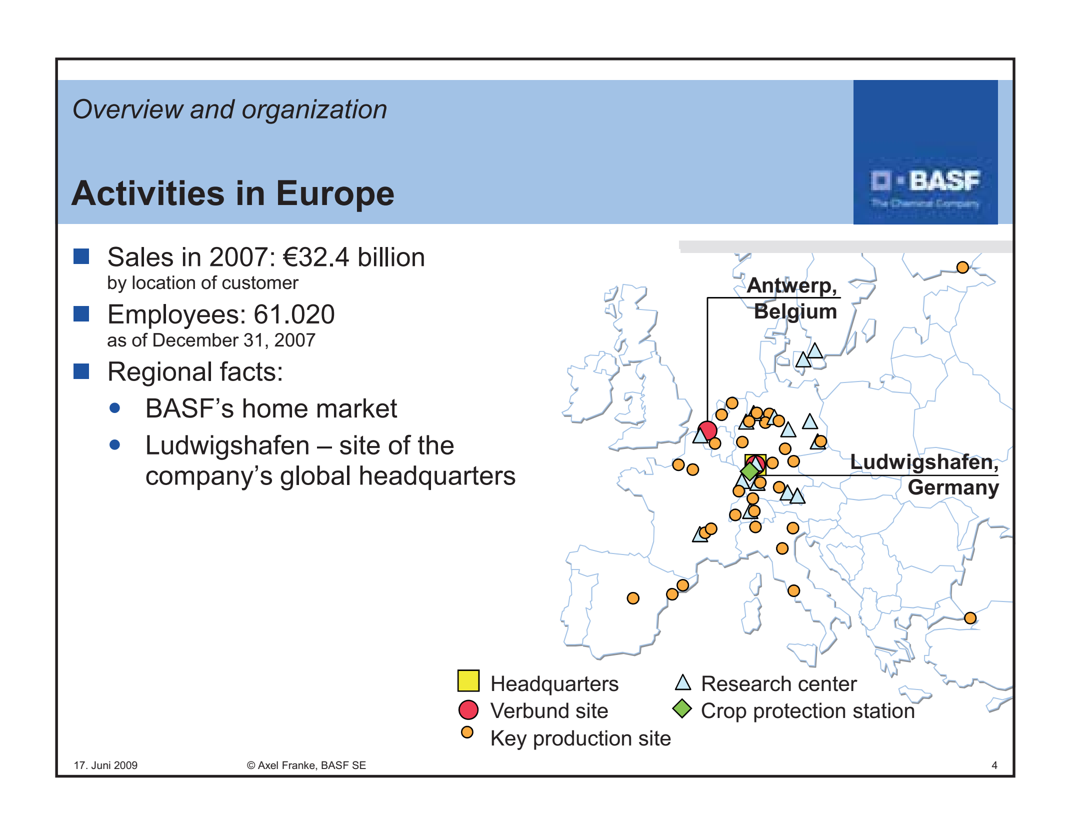
12. IFF-Wissenschaftstage, Juni 2009

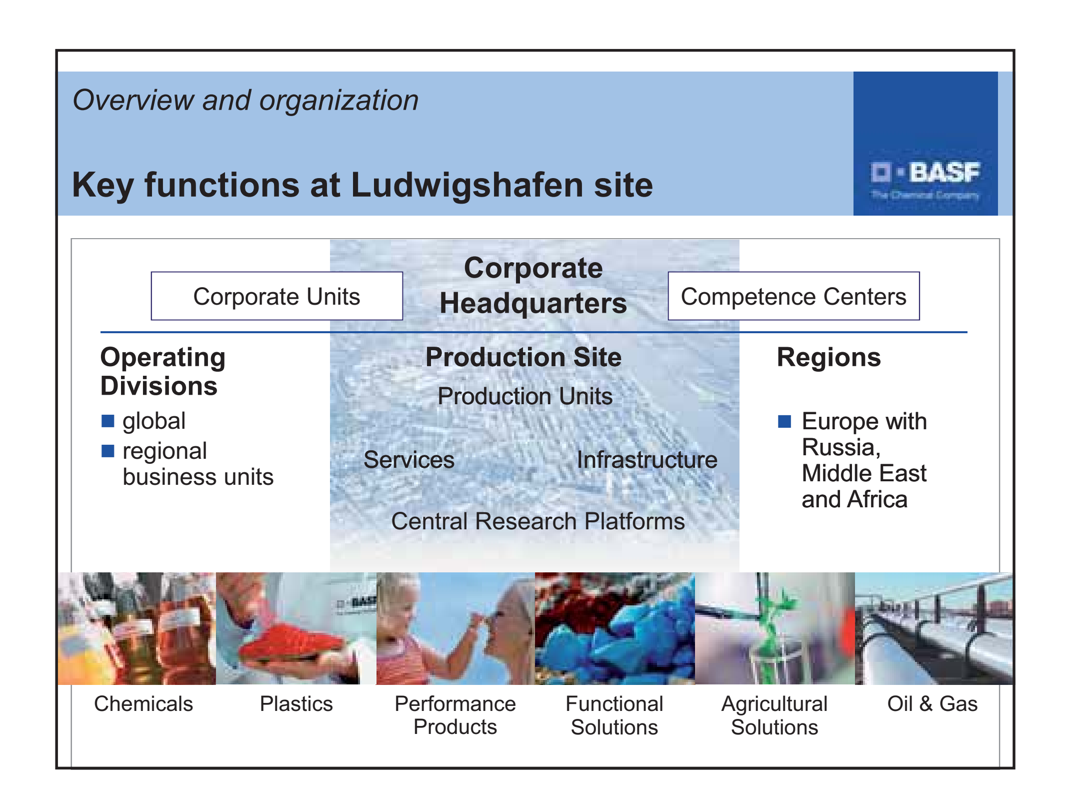
Verbund Site Management Europe
Technical Site Services
WLD/BA – L950
Axel Franke

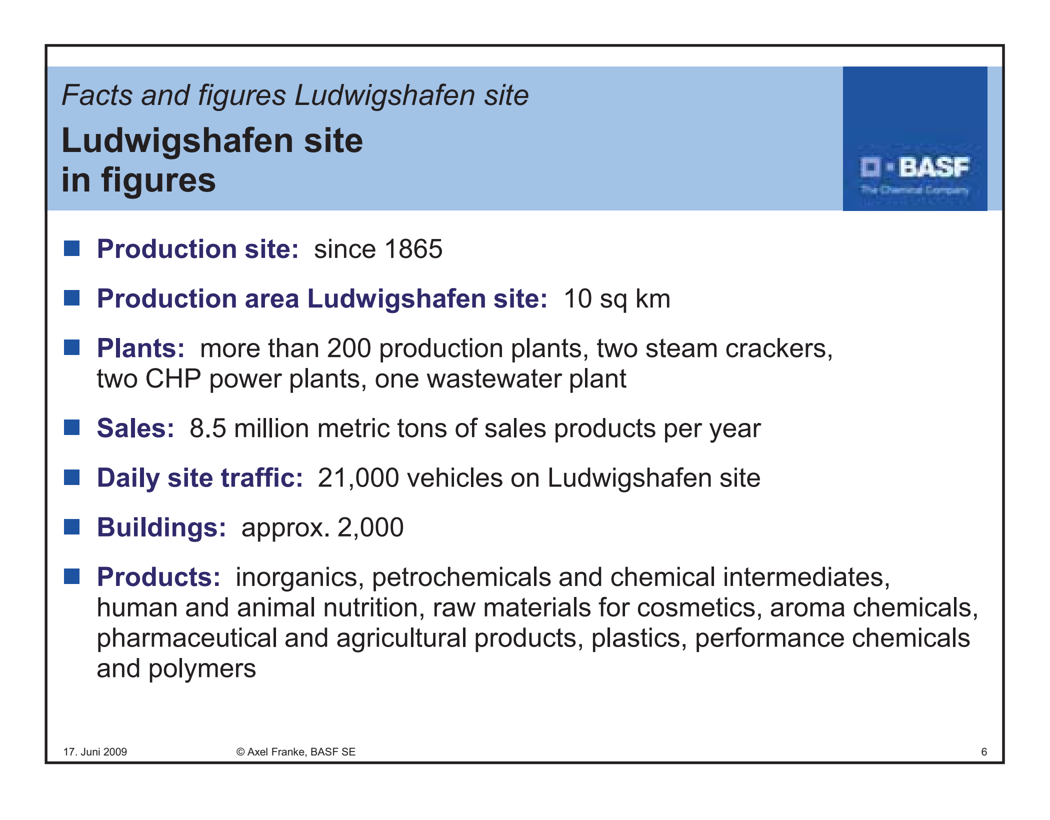





Overview and organization
BASF worldwide
BASF
The Chemical Company
Antwerp
Ludwigshafen
Freeport
Geismar
Nanjing
Kuantan
Verbund site
Key production site
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
3


Overview and organization
Activities in Europe
BASF
The Chemical Company
Sales in 2007: €32.4 billion
by location of customer
Employees: 61.020
as of December 31, 2007
Regional facts:
BASF's home market
Ludwigshafen – site of the company's global headquarters
Antwerp, Belgium
Ludwigshafen, Germany
Headquarters
Verbund site
Key production site
Research center
Crop protection station
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
4


Overview and organization
Key functions at Ludwigshafen site
BASF
The Chemical Company
Corporate Units
Corporate Headquarters
Competence Centers
Operating Divisions
global
regional business units
Production Site
Production Units
Services
Infrastructure
Central Research Platforms
Regions
Europe with Russia, Middle East and Africa
Chemicals
Plastics
Performance Products
Functional Solutions
Agricultural Solutions
Oil & Gas


Facts and figures Ludwigshafen site
Ludwigshafen site in figures
BASF
The Chemical Company
Production site: since 1865
Production area Ludwigshafen site: 10 sq km
Plants: more than 200 production plants, two steam crackers, two CHP power plants, one wastewater plant
Sales: 8.5 million metric tons of sales products per year
Daily site traffic: 21,000 vehicles on Ludwigshafen site
Buildings: approx. 2,000
Products: inorganics, petrochemicals and chemical intermediates, human and animal nutrition, raw materials for cosmetics, aroma chemicals, pharmaceutical and agricultural products, plastics, performance chemicals and polymers
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
6

Facts and figures Ludwigshafen site

Ludwigshafen site in figures



- **Storage capacity:** 100,000 metric tons packaged chemicals (8-fold handling/year) in Europe's most modern chemical logistics center
- **Handling capacity:** approx. 300,000 containers per year, the region's most efficient intermodal transport terminal
- **Overground pipes:** 2,000 km (from Ludwigshafen to Seville)
- **Cables:** 3,900 kilometers (from Ludwigshafen to Kuwait)
- **Road:** 115 km (from Ludwigshafen to Strasbourg)
- **Rail:** 211 km (from Ludwigshafen to Bonn)
- **Riverbank facilities along the Rhine:** 6 km
- **Inland port of Ludwigshafen North:** BASF handles more than 40 percent of total goods here

17. Juni 2009 © Axel Franke, BASF SE 7

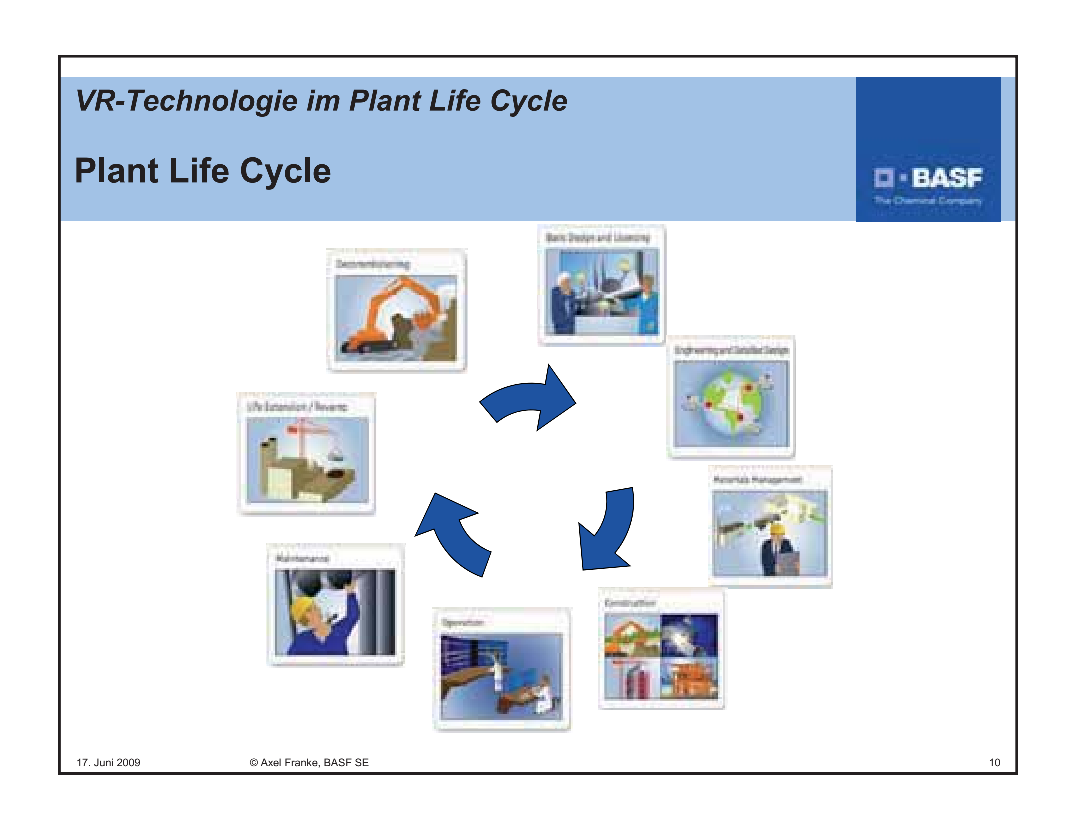
Overview and organization

Ludwigshafen Verbund Site – the world's largest integrated chemical complex

BASF

über 200 Anlagen in Betrieb
über 300 Projekte in Abwicklung
über 600 km Rohrleitungsmaterial p. Jahr

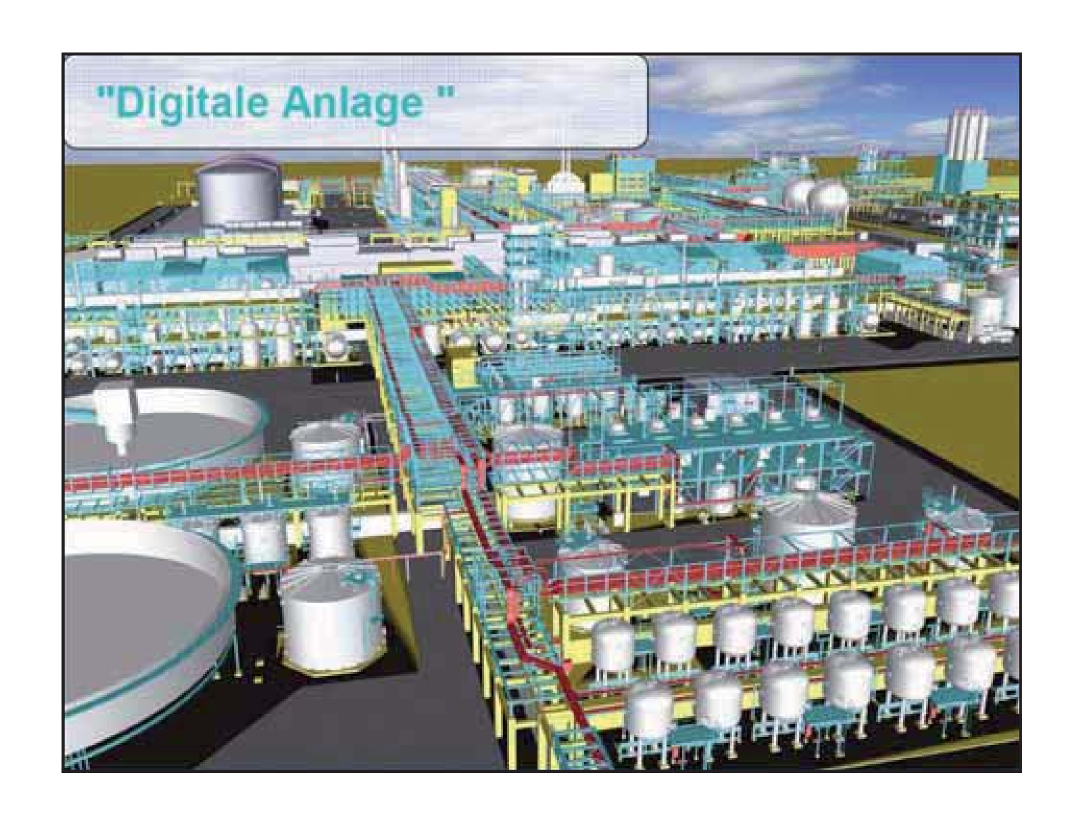

Informationen sind essentiell für betriebliche und technische Entscheidungen…

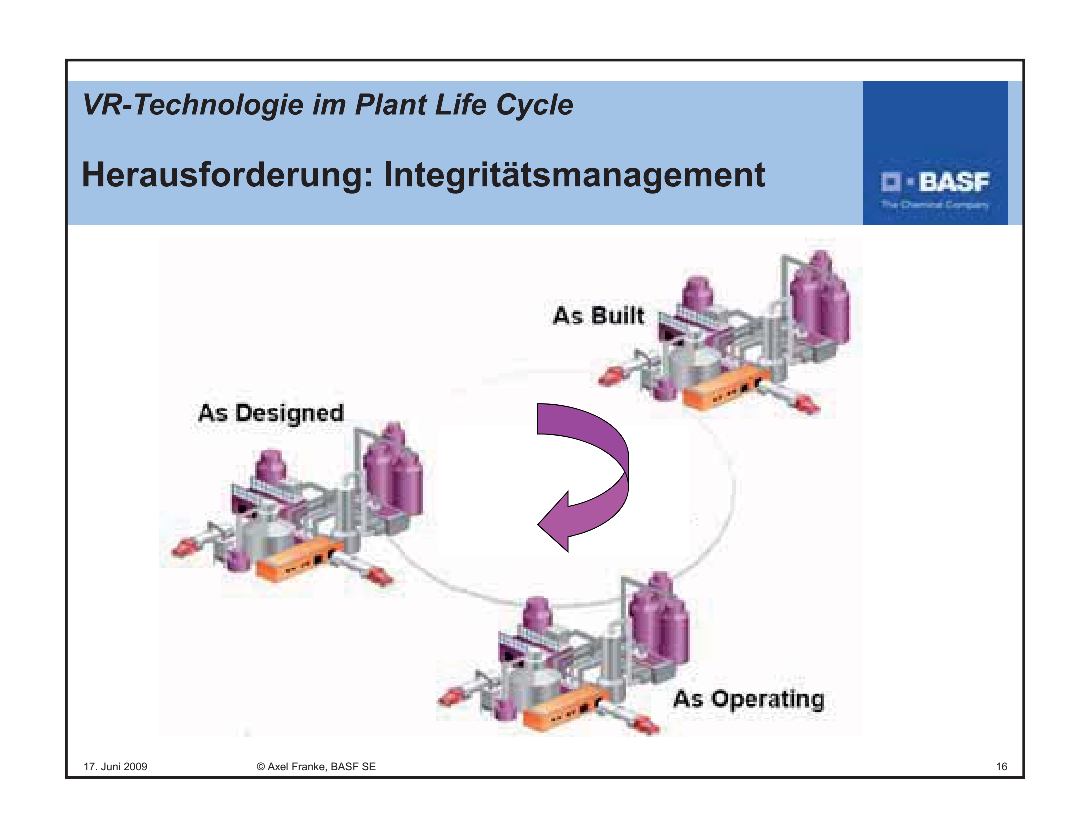

VR-Technologie im Plant Life Cycle
Plant Life Cycle
BASF
The Chemical Company
Basic Design and Licensing
Materials Management
Construction
Operation
Maintenance
Life Extension / Revamp
Decommissioning
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
10

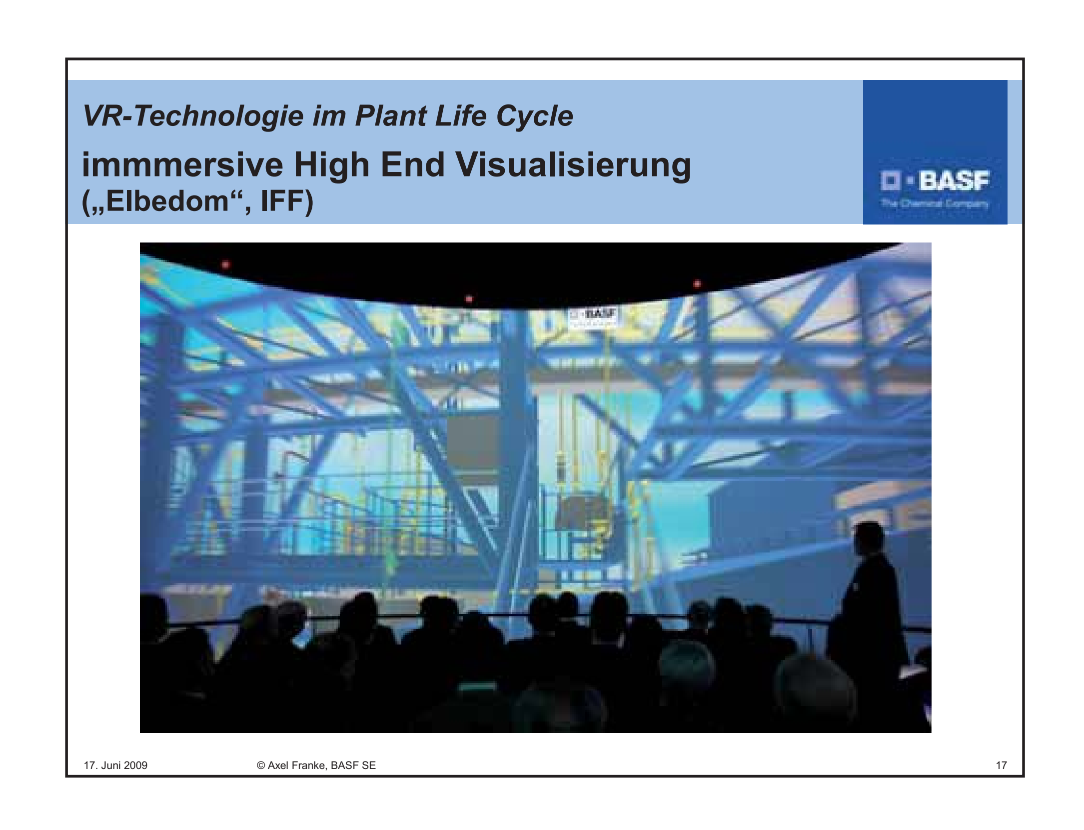

Die Idee

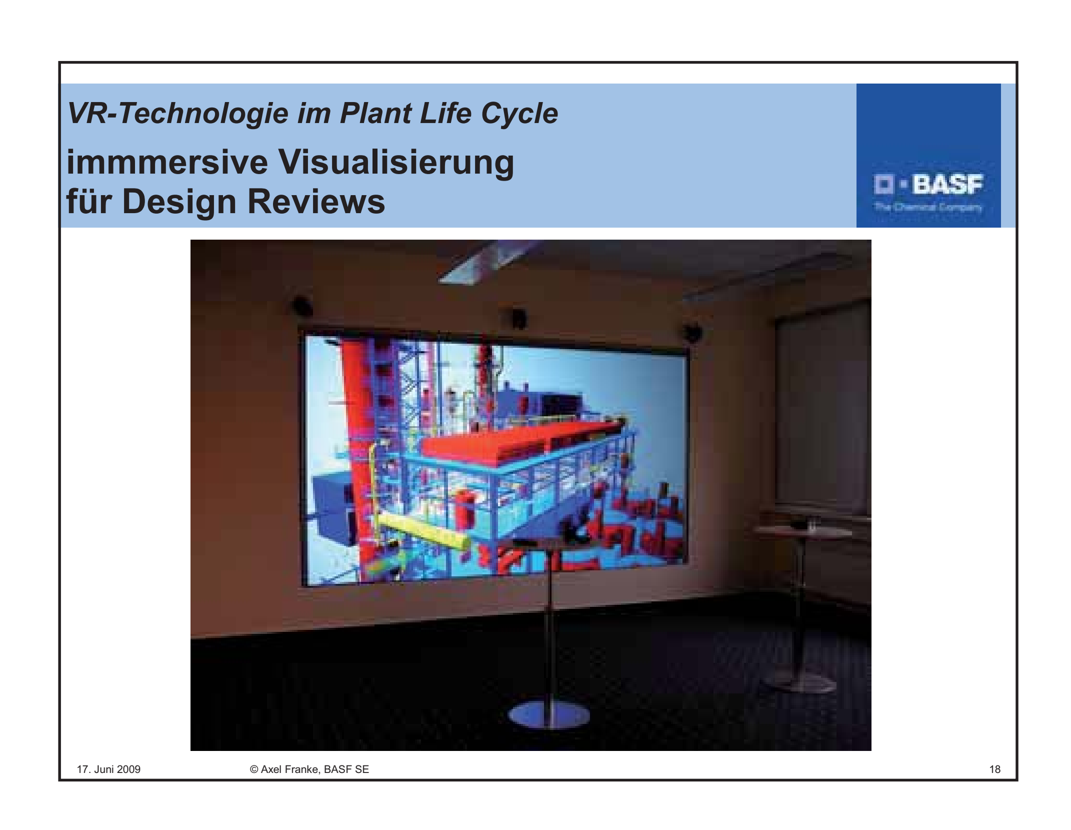

Für jede
Reale Anlage...

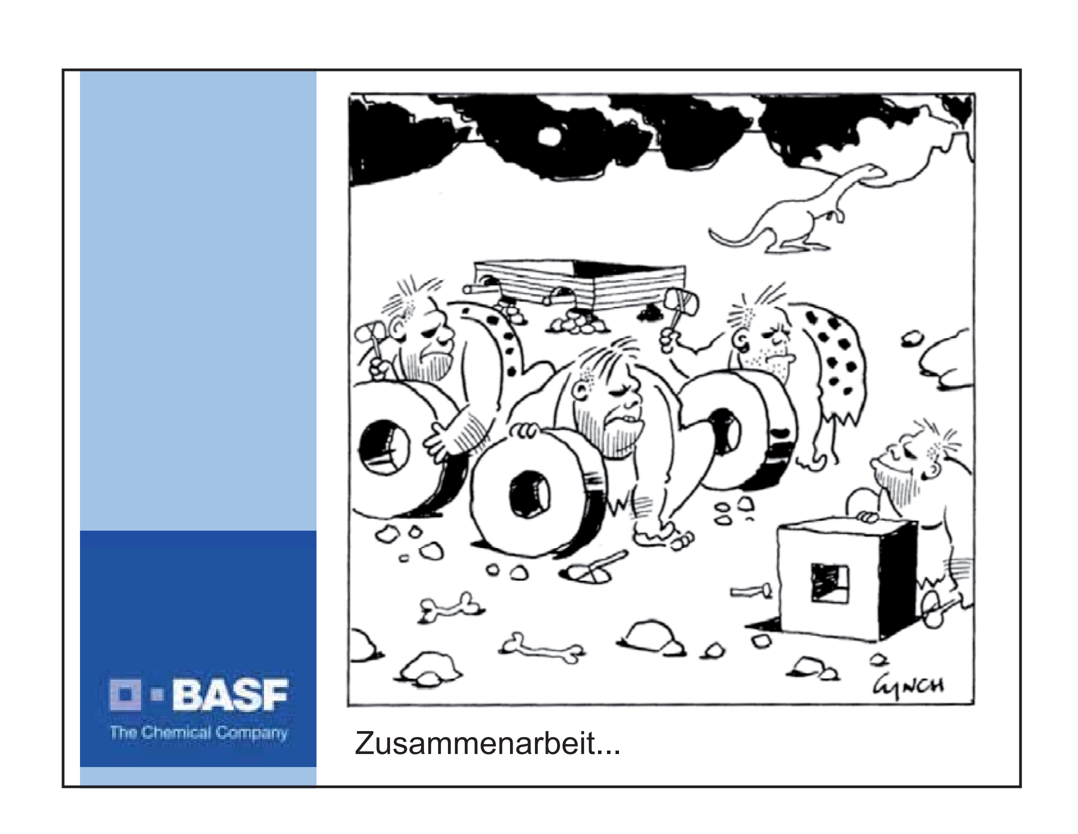

…existiert eine
digitale Anlage


"Digitale Anlage "

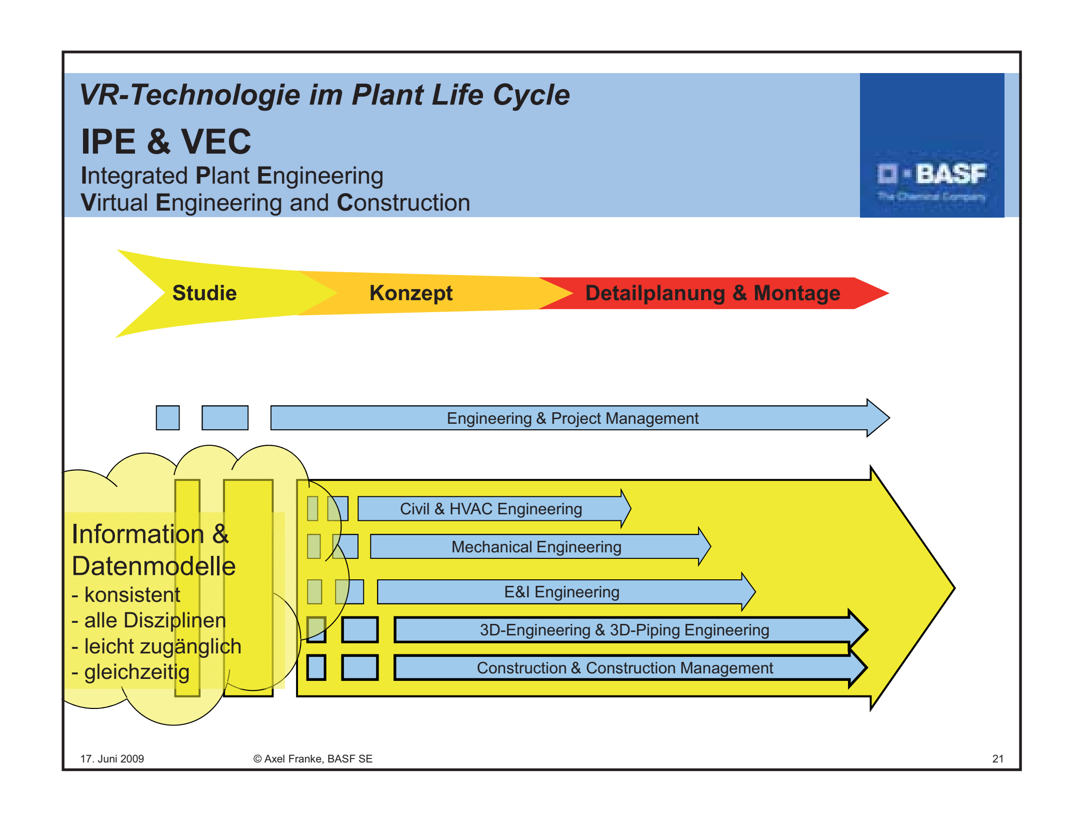

VR-Technologie im Plant Life Cycle
Herausforderung: Integritätsmanagement
BASF
The Chemical Company
As Built
As Designed
As Operating
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
16


VR-Technologie im Plant Life Cycle
immmersive High End Visualisierung
(„Elbedom“, IFF)
BASF
The Chemical Company
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
17


VR-Technologie im Plant Life Cycle
immmersive Visualisierung
für Design Reviews
BASF
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
18


BASF
The Chemical Company
Zusammenarbeit...


warum
?
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
20


VR-Technologie im Plant Life Cycle
IPE & VEC
Integrated Plant Engineering
Virtual Engineering and Construction
BASF
Studie
Konzept
Detailplanung & Montage
Engineering & Project Management
Civil & HVAC Engineering
Mechanical Engineering
E&I Engineering
3D-Engineering & 3D-Piping Engineering
Construction & Construction Management
Information &
Datenmodelle
- konsistent
- alle Disziplinen
- leicht zugänglich
- gleichzeitig
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
21



VR-Technologie im Plant Life Cycle

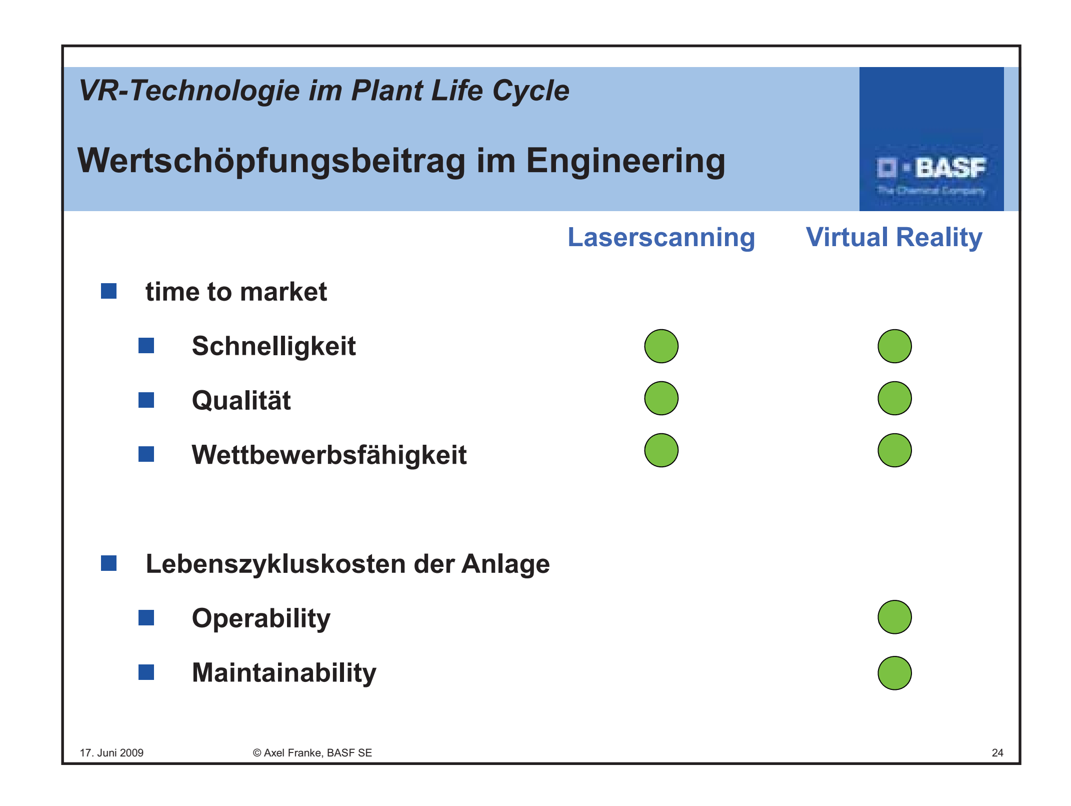
Anwenderfeedback

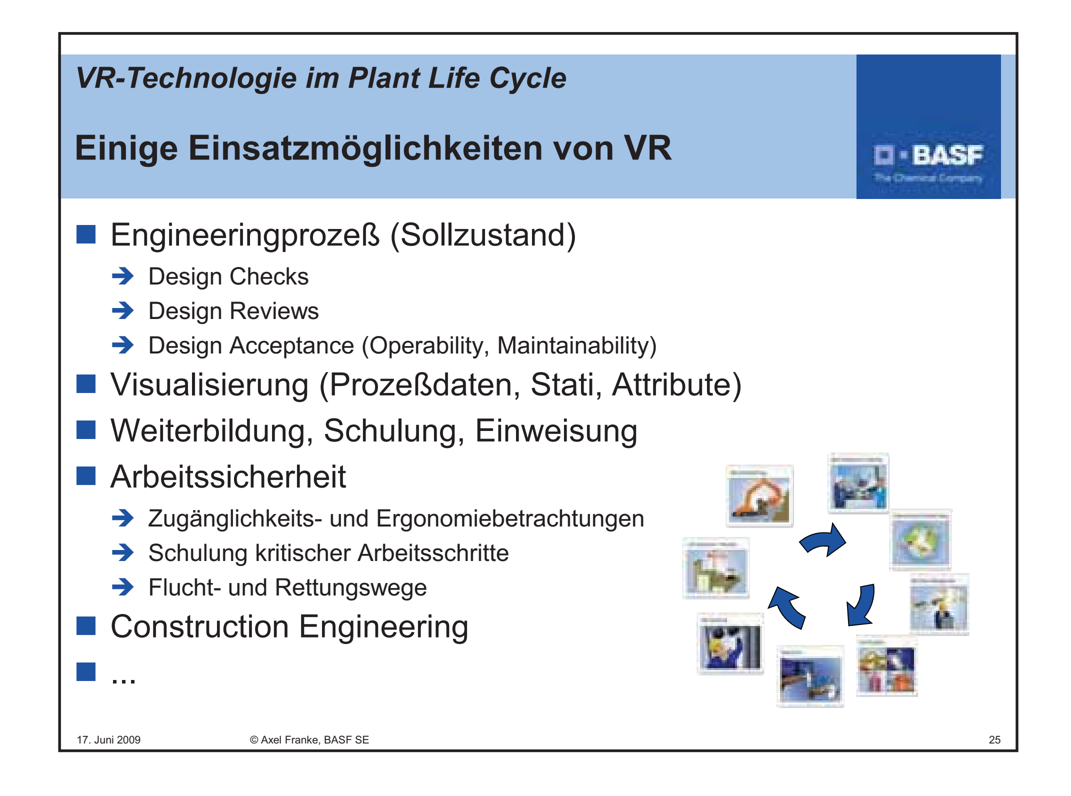


- „Hätte uns viele Umbauten in der Montagephase **gespart**.“
- „ca. **2-3 fache Anzahl** von Rohrleitungen konnten pro Review abgenommen werden.“

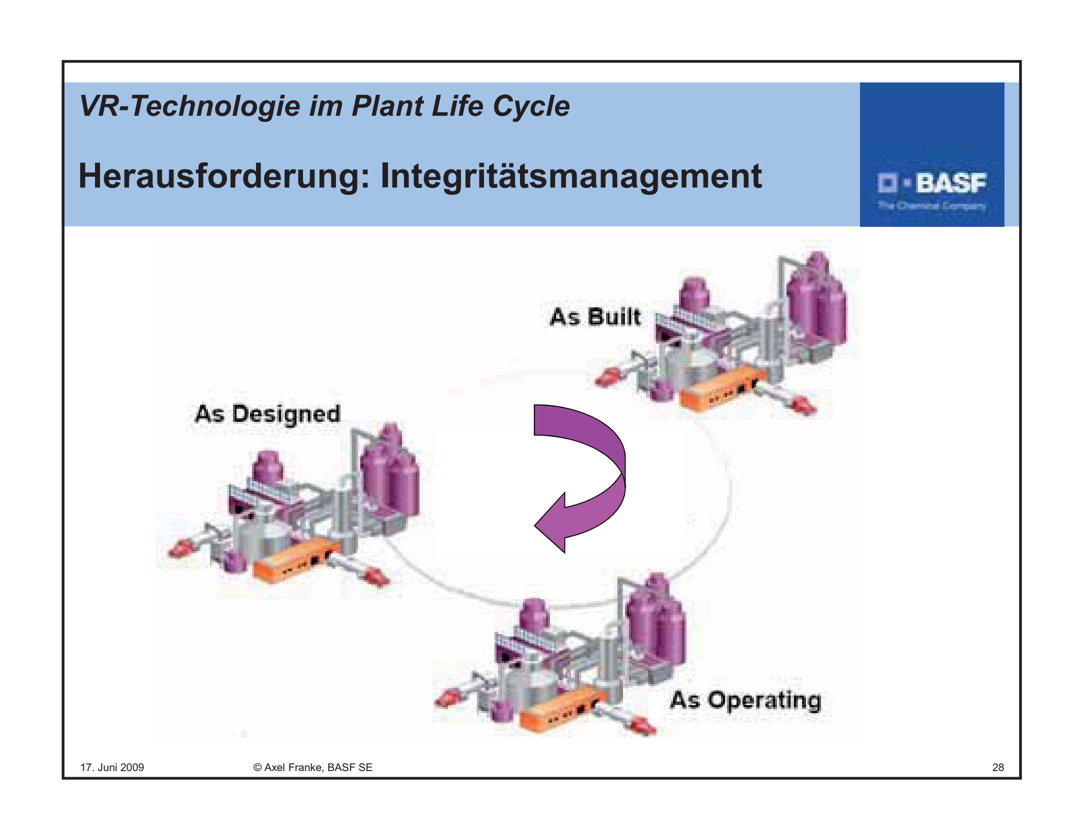
- „Gefällt mir nicht, zu viele **Planungsfehler** werden **erkennbar**!“ (externer Planer)

- „ Laserscanning und VR **unschlagbar**. Durchsprachen nun gefahrlos und effektiv im Büro. “
- „ Als Betreiber schon vor der Montage die **Anlage „begehen“**.
- „ **Will ich** in meinen zukünftigen Projekten **haben**. “
- „ Wie sollen wir denn ohne VR unser Projekt weiter bearbeiten? “


VR-Technologie im Plant Life Cycle
Wertschöpfungsbeitrag im Engineering
BASF
The Chemical Company
Laserscanning
Virtual Reality
time to market
Schnelligkeit
Qualität
Wettbewerbsfähigkeit
Lebenszykluskosten der Anlage
Operability
Maintainability
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
24


VR-Technologie im Plant Life Cycle
Einige Einsatzmöglichkeiten von VR
BASF
The Chemical Company
Engineeringprozeß (Sollzustand)
Design Checks
Design Reviews
Design Acceptance (Operability, Maintainability)
Visualisierung (Prozeßdaten, Stati, Attribute)
Weiterbildung, Schulung, Einweisung
Arbeitssicherheit
Zugänglichkeits- und Ergonomiebetrachtungen
Schulung kritischer Arbeitsschritte
Flucht- und Rettungswege
Construction Engineering
...
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
25


…die Anforderungen ändern sich


VR-Technologie im Plant Life Cycle
Herausforderung: Integritätsmanagement
BASF
The Chemical Company
As Built
As Designed
As Operating
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
28


BASF
The Chemical Company
THANK YOU
17. Juni 2009
© Axel Franke, BASF SE
29

Autoren

Dipl.-Ing. Axel Franke
Senior Mechanical Engineering Manager

BASF SE
Mechanical Engineering
WLD/BA-L950
67056 Ludwigshafen

Telefon: 0621 60 52976
E-Mail: axel.franke@basf.com



Digitale Prozessentwicklung und Digitale Fabrik

Demonstratorlösung für den Anlagenbau – Methoden und Werkzeuge für den modernen Anlagenbau und -betrieb

Dipl.-Inform. Sebastian Dörr
Dr. Rolf Paul
Dr. Martin Endig

Lebenslauf



Dipl.-Inform. Sebastian Dörr

Sales Director

ITandFactory GmbH
Auf der Krautweide 32
65812 Bad Soden

Telefon: 06196 6092 517
E-Mail: sebastian.doerr@itandfactory.com

1985-1992	Studium der Informatik an der Technischen Universität Darmstadt
1990-2000	Gründer und Inhaber der ‚Dörr CAD Beratung und Schulung'
	Beratungsunternehmen für Graphikanwendungssysteme im Bereich AEC
1994-2002	Vorstand der ‚accentis AG'
	Beratungsunternehmen im Bereich CAE und DMS Lösungen
2003-2005	Geschäftsführer ‚iatrocon GmbH'
	Beratungsgesellschaft für Organisation im Bereich Medizin
seit 2006	Sales Director ‚ITandFactory GmbH'
	Lösungsanbieter im Bereich CAE

"Demonstratorlösung für den Anlagenbau - Methoden und Werkzeuge für den modernen Anlagenbau und -betrieb"

S. Dörr, ITandFactory GmbH, Bad Soden,
R. Paul, B.I.M.-Consulting mbH, Magdeburg,
M. Endig, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung





Situation und Motivation im Anlagenbau

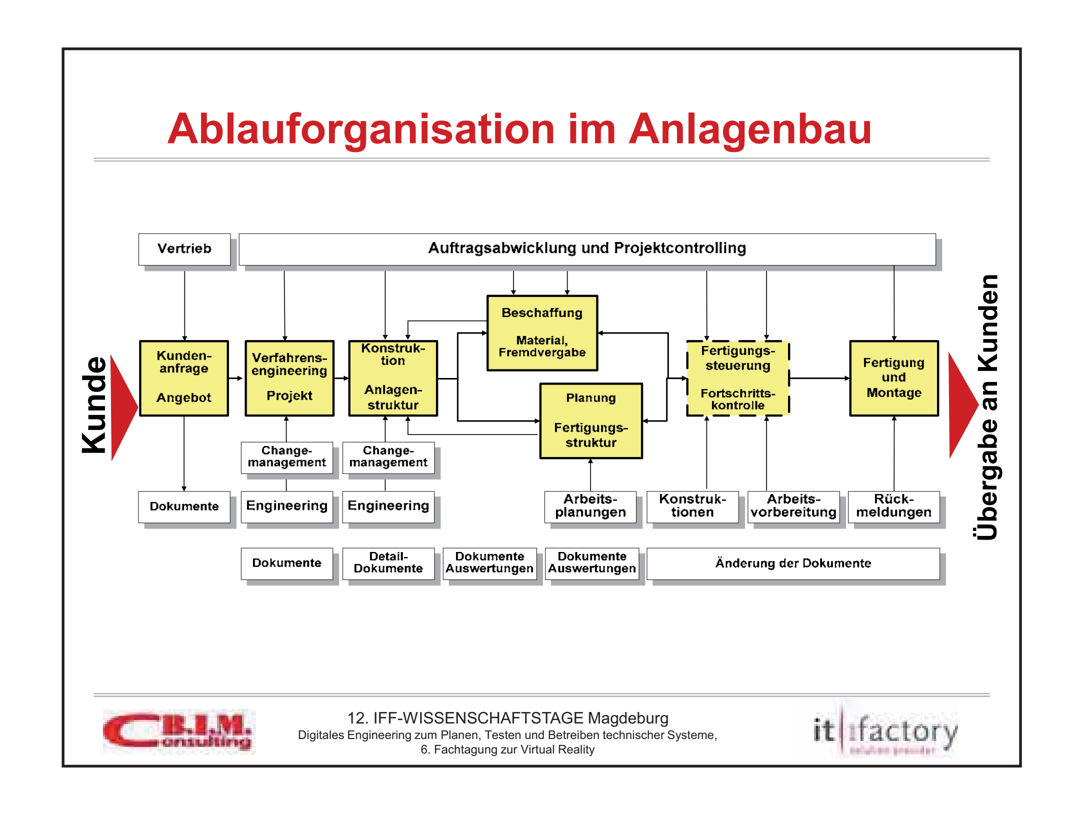
- Anlagenbau hat gefüllte Auftragsbücher
- Zunahme der Arbeitsteilung mit unterschiedlichen Zulieferern an unterschiedlichen Standorten (weltweit)
- kurze Lieferzeiten
- Einhaltung der Kosten, Zeit- und Qualitätsbedingungen
- KMUs haben erhöhtes Risiko, da sie nicht über die Ressourcen und den organisatorischen Apparat des Großanlagenbaus verfügen

Integration von Tools für Engineering, Projektabwicklung und Projektcontrolling



12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality





Geschäftsprozesse im Anlagenbau
Welche Aufgaben sind zu bewältigen?

- Angebotsphase

- Anlagenplanung (CAD/CAE)
  - Verfahrenstechnik, Auslegung, Simulation
  - Fließbilder, R&I-Schemata
  - Layout/ Spacemanagement
  - 3D-Aufstellungsplanung
  - Rohrleitungsplanung , Isometrien, Materialauszüge
  - Festigkeitsberechnungen
  - Apparateauslegung

- Projektabwicklung (nicht CAD/CAE)
  - Terminplanung, -verfolgung
  - Personalplanung
  - Fortschrittskontrolle
  - Kostenverfolgung
  - Dokumentenmanagement
  - Beschaffung
  - Apparatespezifikation
  - Materialbewirtschaftung
  - Montagesteuerung
  - Qualifizierung, Validierung



12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality



Geschäftsprozesse im Anlagenbau
Welche Aufgaben sind zu bewältigen?

- Anlagenplanung (CAD/CAE)
  - Verfahrenstechnik, Auslegung, Simulation
  - Fließbilder, R&I-Schemata
  - Layout/ Spacemanagement
  - 3D-Aufstellungsplanung
  - Rohrleitungsplanung, Isometrien, Materialauszüge
  - Festigkeitsberechnungen
  - Apparateauslegung

- Angebotsphase
- Projektabwicklung (nicht CAD/CAE)
  - Terminplanung, -verfolgung
  - Personalplanung
  - Fortschrittskontrolle
  - Kostenverfolgung
  - Dokumentenmanagement
  - Beschaffung
  - Apparatespezifikation
  - Materialbewirtschaftung
  - Montagesteuerung
  - Qualifizierung, Validierung



12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality



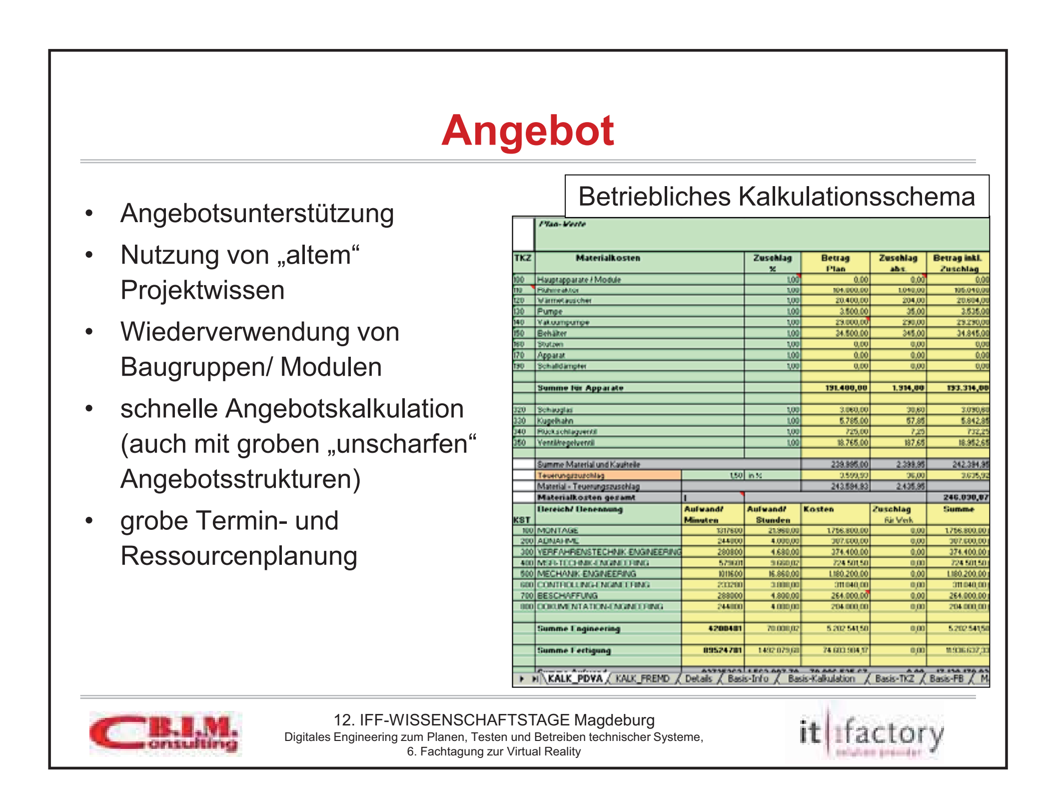
Übersicht der Aufgaben

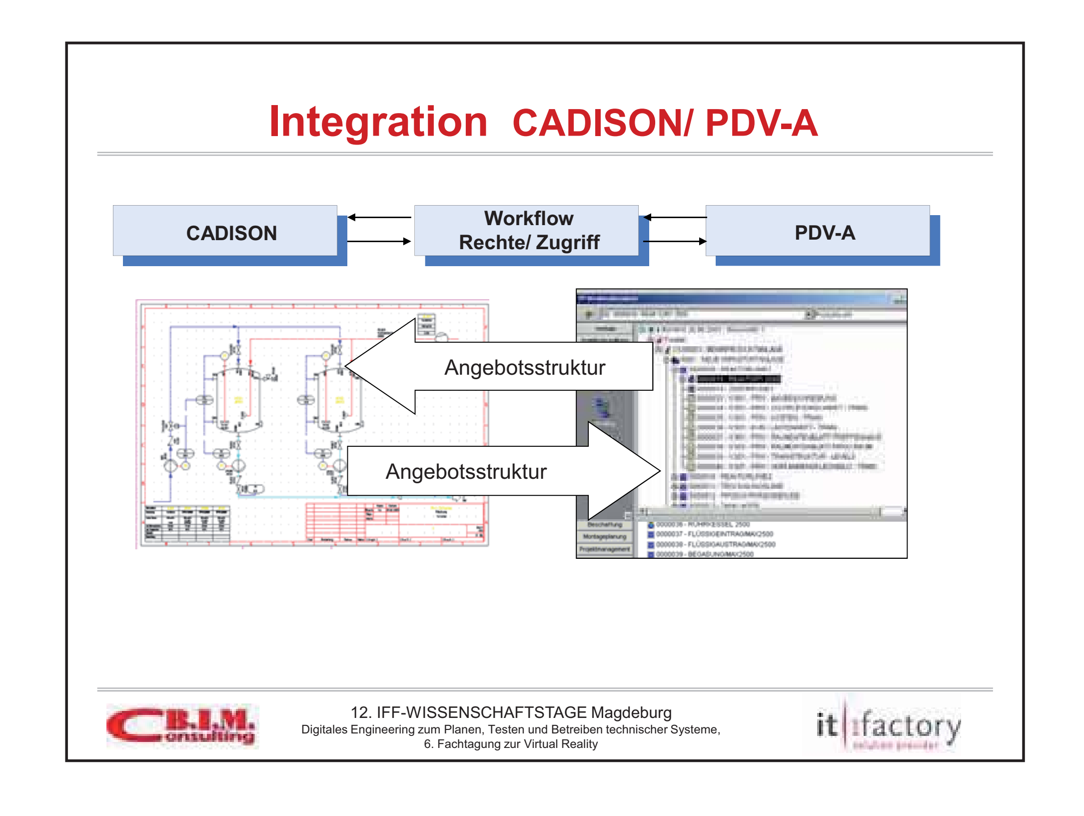
- Angebot: Angebotserstellung, Setzen von Planwerten (Angebotskalkulation, Grobterminierung, Ressourcen)
- Projektabwicklung: Feinplanung, Projektablauf (Geld, Termine, Ressourcen, Beschaffung)
- Projektcontrolling: mitlaufendes Controlling, Projektüberwachung, Änderungsmanagement, Projektfortschritt, Reporting, MIS
- Datenübergabe an Finanzwesen

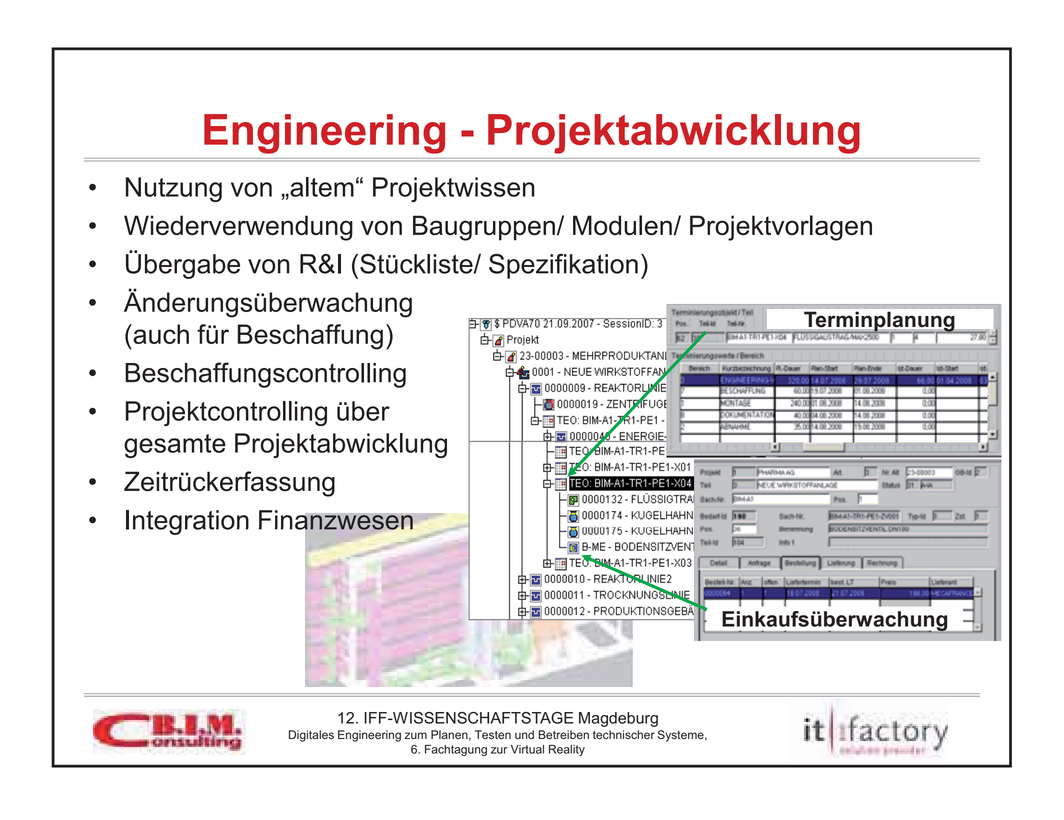


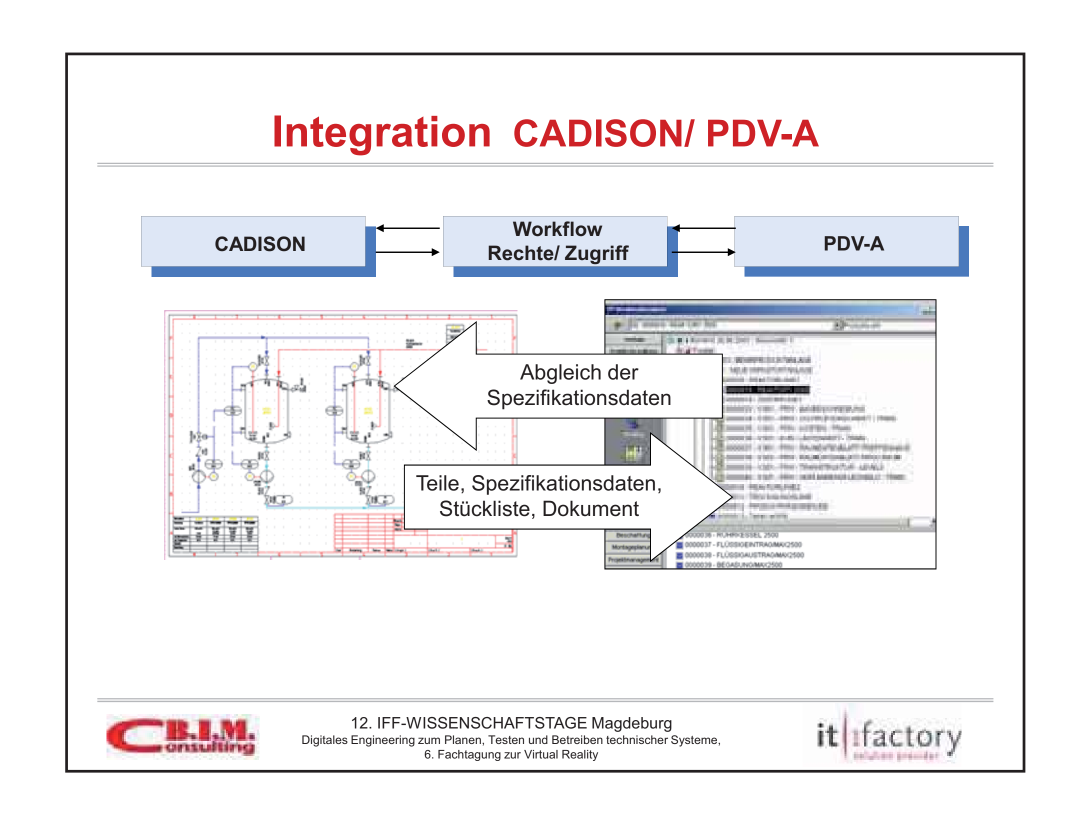
12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality

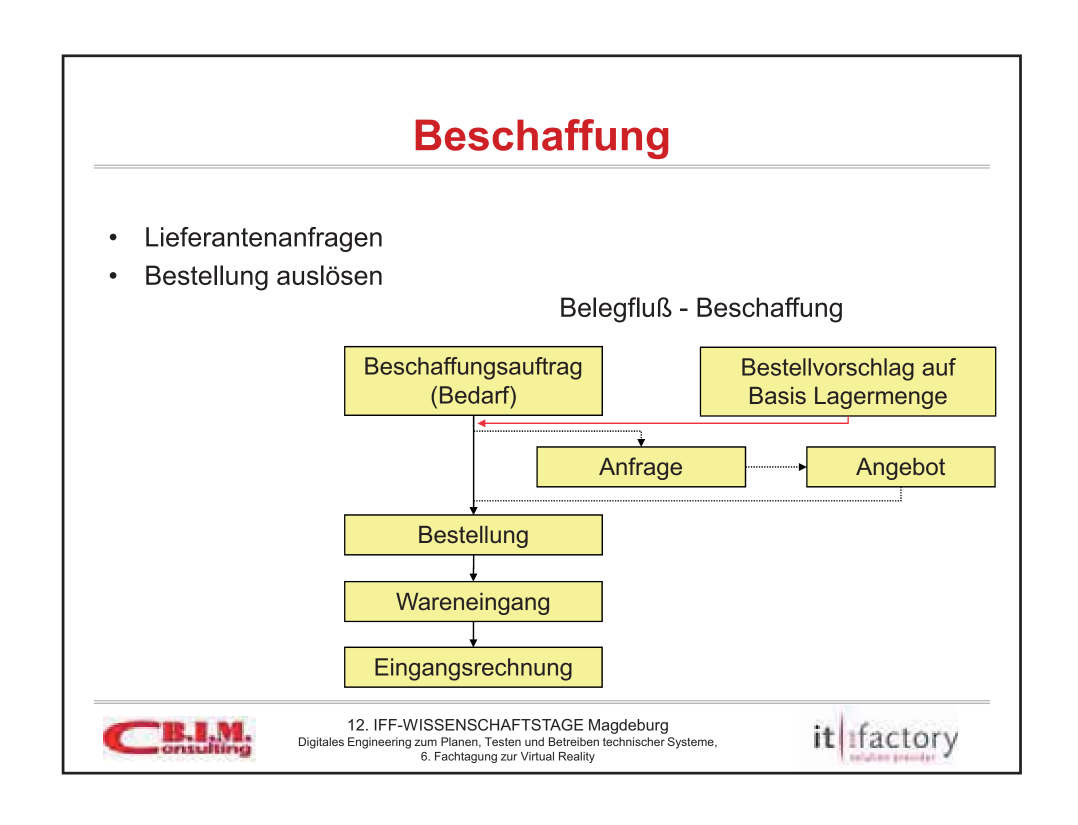


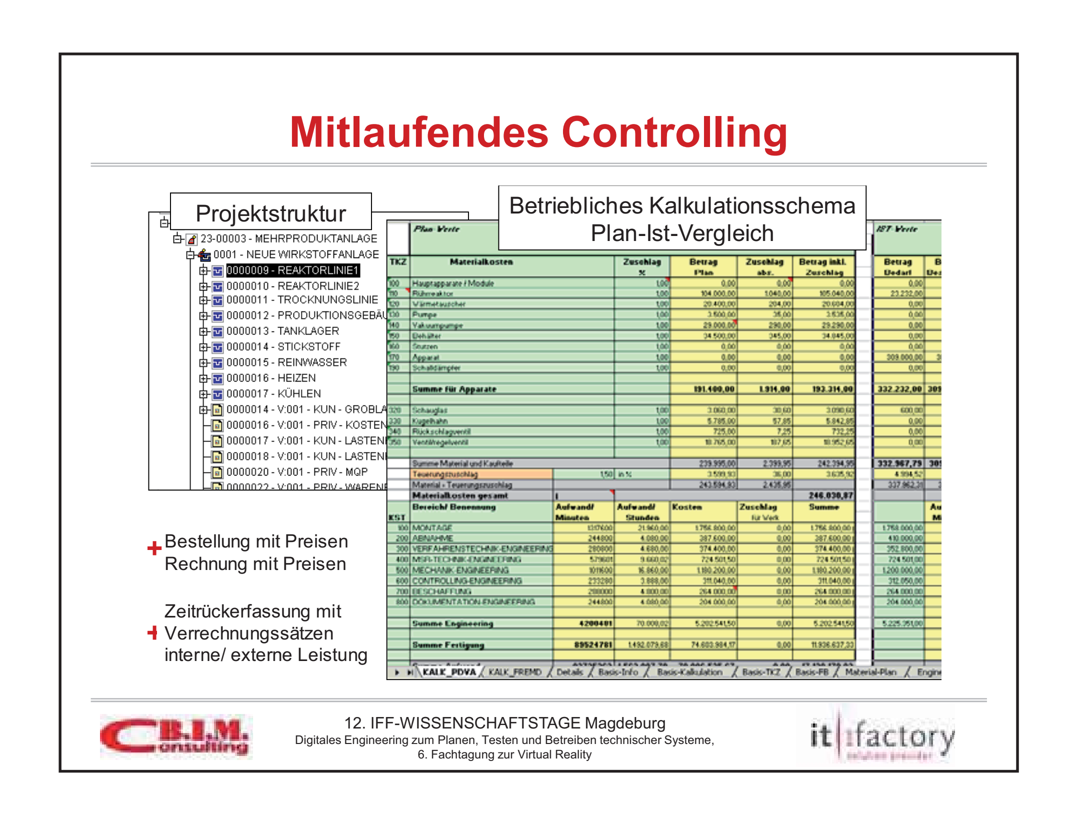

Angebot
Angebotsunterstützung
Nutzung von „altem“ Projektwissen
Wiederverwendung von Baugruppen/ Modulen
schnelle Angebotskalkulation (auch mit groben „unscharfen“ Angebotsstrukturen)
grobe Termin- und Ressourcenplanung
Betriebliches Kalkulationsschema
C.B.I.M. consulting
12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality
it factory

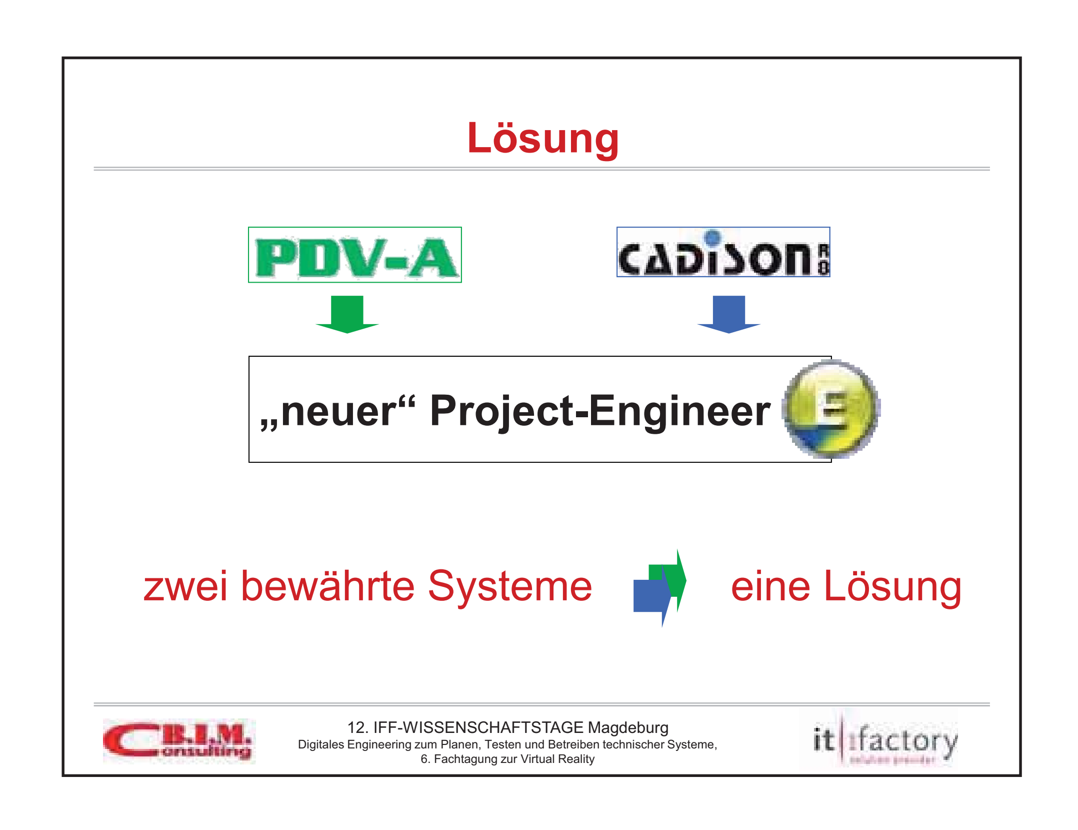

Integration CADISON/ PDV-A
CADISON
Workflow
Rechte/ Zugriff
PDV-A
Angebotsstruktur
Angebotsstruktur
C.B.I.M. consulting
12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality
it factory

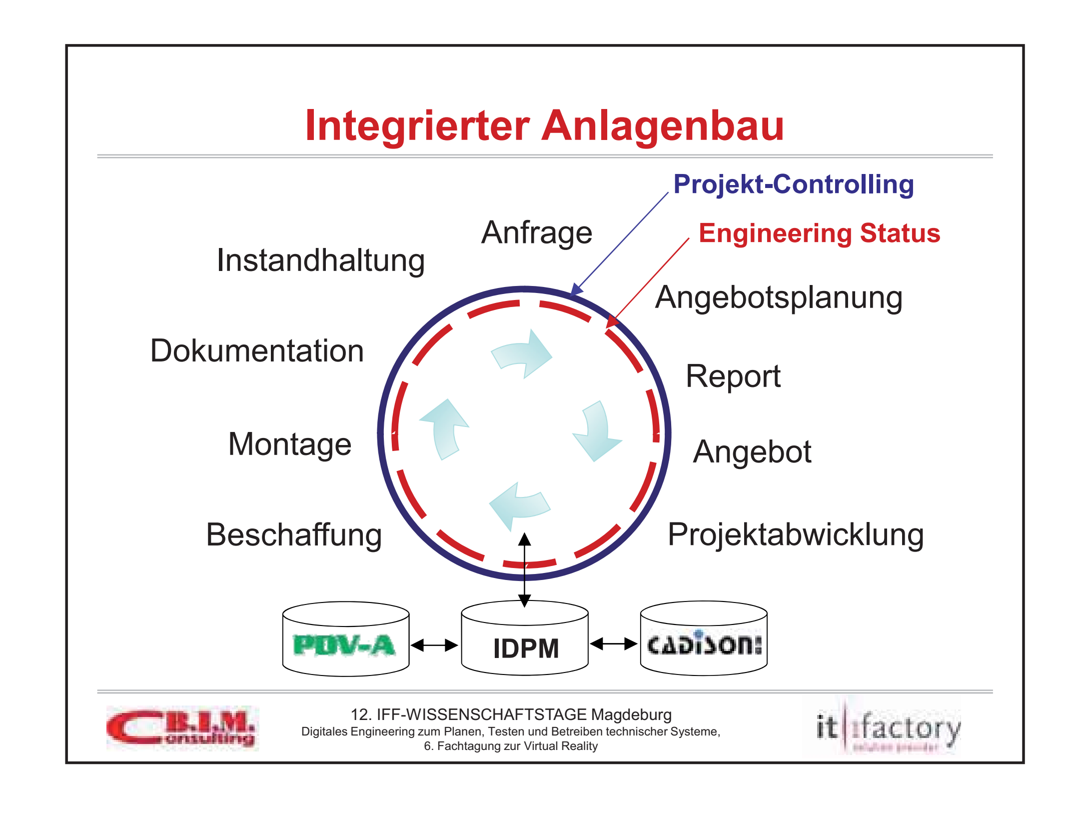

Engineering - Projektabwicklung
Nutzung von „altem“ Projektwissen
Wiederverwendung von Baugruppen/ Modulen/ Projektvorlagen
Übergabe von R&I (Stückliste/ Spezifikation)
Änderungsüberwachung (auch für Beschaffung)
Beschaffungscontrolling
Projektcontrolling über gesamte Projektabwicklung
Zeitrückerfassung
Integration Finanzwesen
Terminplanung
Einkaufsüberwachung
12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality


Integration CADISON/ PDV-A
CADISON
Workflow
Rechte/ Zugriff
PDV-A
Abgleich der Spezifikationsdaten
Teile, Spezifikationsdaten, Stückliste, Dokument
12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality


Beschaffung
• Lieferantenanfragen
• Bestellung auslösen
Belegfluß - Beschaffung
Beschaffungsauftrag (Bedarf)
Bestellvorschlag auf Basis Lagermenge
Anfrage
Angebot
Bestellung
Wareneingang
Eingangsrechnung
C.B.I.M. Consulting
12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality
it factory


Mitlaufendes Controlling
Projektstruktur
23-00003 - MEHRPRODUKTANLAGE
0001 - NEUE WIRKSTOFFANLAGE
0000009 - REAKTORLINIE1
0000010 - REAKTORLINIE2
0000011 - TROCKNUNGSLINIE
0000013 - TANKLAGER
0000014 - STICKSTOFF
0000015 - REINWASSER
0000016 - HEIZEN
0000017 - KÜHLEN
Betriebliches Kalkulationsschema
Plan-Ist-Vergleich
+ Bestellung mit Preisen
Rechnung mit Preisen
+ Zeitrückerfassung mit Verrechnungssätzen interne/ externe Leistung
C.B.I.M. Consulting
12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality
it factory


Lösung
PDV-A
CADISON
„neuer“ Project-Engineer
zwei bewährte Systeme
eine Lösung
12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality
it factory


Integrierter Anlagenbau
Projekt-Controlling
Engineering Status
Anfrage
Instandhaltung
Angebotsplanung
Dokumentation
Report
Montage
Angebot
Beschaffung
Projektabwicklung
PDV-A
IDPM
CADISON
12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality
it factory

Schlussfolgerung

- Frühzeitige Steuerungsmechanismen im Projektmanagement sind notwendig für die erfolgreiche Angebotsabgabe
- Transparenz und Informationsbereitstellung während der gesamten Phase der Projektabarbeitung muss gesichert werden



12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality



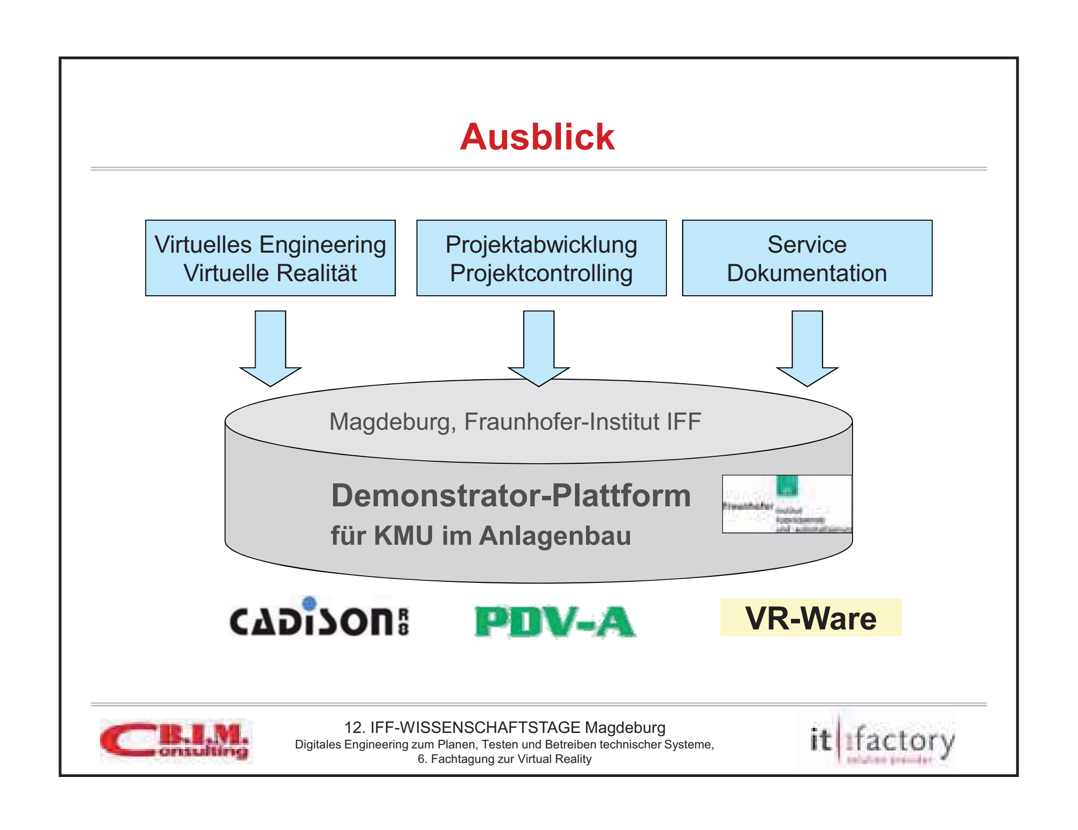
Vorteile des „neuen“ Project-Engineer

- Arbeiten mit den korrekten/ tatsächlichen Daten zur Laufzeit
- Übergabe der Daten an weiterführende Prozesse
- Ausschluss von Fehlannahmen: Reduktion von Unsicherheiten
- sofortige Verfügbarkeit von Unter-/ Überschreitung mit Hilfe des Projektcontrollings
- Integrierte Zeitrückerfassung im laufenden Projekt
- strukturiertes Dokumentenmanagement



12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality




Ausblick
Virtuelles Engineering
Virtuelle Realität
Projektabwicklung
Projektcontrolling
Service
Dokumentation
Magdeburg, Fraunhofer-Institut IFF
Demonstrator-Plattform
für KMU im Anlagenbau
CADISON
PDV-A
VR-Ware
12. IFF-WISSENSCHAFTSTAGE Magdeburg
Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme,
6. Fachtagung zur Virtual Reality
C.B.I.M. consulting
it factory

Autoren

Dipl.-Inform. Sebastian Dörr
Sales Director

ITandFactory GmbH
Auf der Krautweide 32
65812 Bad Soden

Telefon: 06196 6092 517
Telefax: 06196 6092 202
E-Mail: sebastian.doerr@itandfactory.com

Dr. Rolf Paul
Geschäftsführer

B.I.M.-Consulting mbH
Röntgenstraße 13
39108 Magdeburg

Telefon: 0391 592 790
Telefax: 0391 592 7911
E-Mail: rolf.paul@bim-consulting.de

Dr. Martin Endig
Projektleiter

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 120
Telefax: 0391 4090 370
E-Mail: martin.endig@iff.fraunhofer.de



Digitale Prozessentwicklung und Digitale Fabrik

Qualifizierungsentwicklung in der BG Chemie

Dr. rer. nat. Gerd Uhlmann

Lebenslauf



Dr. rer. nat. Gerd Uhlmann

Ausbildungsbereichsleiter

BG Chemie
Zentrum für Arbeitssicherheit
Obere Mühle 1
67487 Maikammer

Telefon: 06321 588 418
E-Mail: guhlmann@bgchemie.de

24.04.1949	Geboren in Gadesbünden, Niedersachsen
10.06.1967	Abitur in Nienburg/Weser
14.10.1967	Beginn des Chemiestudiums in Clausthal
13.05.1977	Promotion zum Dr. rer. nat.
02.11.1977	Eintritt in die Hoechst AG
01.04.1987	Wechsel zur BG Chemie, Referat Aus-und Weiterbildung Fachbereichsleiter Anlagensicherheit
01.02.1997	Ausbildungsbereichsleiter im Zentrum für Arbeitssicherheit der BG Chemie in Maikammer

Qualifizierungsentwicklung in der BG Chemie

Dr. rer. nat. Gerd Uhlmann

1. Einleitung

Die gewerblichen Unfallversicherungen sind –zusammengenommen- nach den staatlichen Bildungseinrichtungen der größte Bildungsträger in Deutschland.
Ihre Aus- und Weiterbildungsarbeit stellt einen integralen Bestandteil der gesetzlich geforderten Prävention zum Schutz der Beschäftigten vor Unfällen, Berufserkrankungen und berufsbedingten Erkrankungen dar.
Der im Gesetz verankerte Grundsatz „mit allen geeigneten Mitteln“ bedeutet hier: mit allen anerkannten Wegen und Medien der modernen Erwachsenenbildung.
Die Aus- und Weiterbildung der BG Chemie setzt zur Erreichung der Lernziele vielfältige Methoden ein und wird zukünftig auch die Teilnehmer orientierte VR-Technik (Virtual Reality) anwenden.

2. Art und Umfang der Ausbildung bei der BG Chemie

Der Sicherheitsstandard in der chemischen Industrie ist trotz des Gefahrstoffes bedingten hohen Grund- Risikos im Vergleich der gewerblichen Wirtschaft sehr hoch. Dies beruht auf durchdachten Sicherheitskonzepten, einem hohen Stand der Sicherheitstechnik, aber auch einem hohen Niveau an Ausbildung und Erfahrung seitens Beschäftigten und Führungskräften. Die BG Chemie beteiligt sich an der Weiterqualifikation ihrer Versicherten seit vielen Jahren mit erheblichem Aufwand und einem breit angelegten Bildungsangebot. Jährlich nehmen rund 15.000 Seminarteilnehmer an unseren Veranstaltungen teil. Durchgeführt werden zurzeit ca. 660 Seminare bei ca. 140 verschiedenen Seminartypen.
Die durchschnittliche Seminargröße liegt bei etwa 23 Teilnehmern. Im Einsatz sind ca. 200 Referenten, überwiegend Gastreferenten auf Honorarbasis aus unseren Mitgliedsunternehmen. Die fachliche Organisation und Weiterentwicklung liegt in den Händen von 8 hauptamtlichen Fachbereichsleitern. Circa 80% der 3-5 tägigen Veranstaltungen finden in den berufsgenossenschaftlichen Bildungszentren der BG Chemie in Laubach und Maikammer statt.



Rund 35 Prozent unserer Seminargäste waren Sicherheitsbeauftragte, an zweiter Stelle folgten die speziellen Seminarangebote, die von gut 30 Prozent der Teilnehmer wahrgenommen wurden. Sie dienen insbesondere der Fortbildung von Fachkräften für Arbeitssicherheit, richten sich aber auch an alle anderen Zielgruppen, die in den Unternehmen mit der Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren betraut sind. Mit rund 25 Prozent bilden die Führungskräfte einen erfreulich großen Anteil, gut neun Prozent der Teilnehmer nehmen an der Ausbildung zur Fachkraft für Arbeitssicherheit teil.

2.1. Weiterentwicklung des Aus- und Weiterbildungsprogramms

Das Seminarprogramm bietet den Arbeitsschutzakteuren ein breites, an den aktuellen Anforderungen orientiertes Angebot zur Vermittlung und Verbesserung von praxisnaher Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz und ist in den letzten Jahren ständig erweitert worden.



Diese Weiterentwicklung orientiert sich am quantitativen Bedarf, an Neuerungen und Änderungen seitens des Regelwerkes so wie der Sicherheitstechnik, aber auch an Wünschen unserer Mitgliedsbetriebe und Versicherten, sowie an Informationen und Erfahrungen anderer Anbieter von Bildungsveranstaltungen.

2.2. Methodik und Didaktik

Vornehmliches Anliegen der Seminargestaltung ist die Erreichung der Lernziele mit der dazu geeigneten Methodik. Angestrebte Schlüsselqualifikationen sind:

Methodenkompetenz
Kommunikative und soziale Kompetenz
Persönlichkeits- und Selbstkompetenz
Fachkompetenz

Je nach Seminarart und Zielgruppe stehen die einzelnen Kompetenzen mehr oder weniger stark im Vordergrund. In den technisch orientierten Fachseminaren ist es eindeutig die Fachkompetenz sowie die Methodenkompetenz, bei der Zielgruppen-Ausbildung wie z.B. den Fachkräften für Arbeitssicherheit sind alle Kompetenzen mehr oder weniger gleich bedeutend.

Die der Kompetenz-Vermittlung zugrunde liegenden didaktischen Prinzipien sind:

Lernzielorientierung
Teilnehmerorientierung
Erfahrungsorientierung
Teilnehmeraktivierung
Transferorientierung

Die in den Seminaren angewendeten Lernmethoden und eingesetzten technischen Medien hängen natürlich sehr stark vom Charakter der jeweiligen Veranstaltung ab, z.B. vom Aus- bzw. Vorbildungsgrad der Teilnehmer, von der inhaltlichen Orientierung, von der zur Verfügung stehenden Zeit und von den Erwartungen der Teilnehmer selbst, aber auch von den Erwartungen ihrer Arbeitgeber sowie- speziell in staatlich anerkannten Veranstaltungen – auch sehr stark von äußeren Vorgaben. Grundsätzlich werden alle geeignet erscheinenden Methoden ins Auge gefasst, die Auswahl sowie die Information der eingesetzten Referenten über neue didaktische Methoden bzw. technische Medien wird über zugeordnete Fachgruppen unter Leitung eines Fachbereichsleiters gesteuert.
Für die Weiterqualifizierung unserer Referenten wird ferner ein breit angelegtes Weiterbildungsangebot kostenfrei angeboten.

2.3. Zukünftiger Einsatz von VR bei der BG Chemie

Bei dem hohen Technik- und Automatisierungsstand in den Betrieben der chemischen Industrie beruhen die mit Abstand meisten Ursachen für Unfälle auf Organisationsmängeln und fehlerhaftem Verhalten von Führungskräften und Mitarbeitern.
Alle Seminarmethoden, die geeignet sind, im Rahmen einer Gefährdungsermittlung realitätsnah gefährliche Situationen zu simulieren, haben zumindest eine größere Chance, einen nachhaltigen Weiterbildungserfolg zu generieren als klassische Vorgehensweisen, gestützt auf Paragrafen und den berühmten „erhobenen Zeigefinger“. Hierbei ist die Nutzung auch von Elementen, die der Neugier bzw. dem Spielbedürfnis der Teilnehmer gerade in Hinsicht auf moderne Technik entgegenkommen, eine sinnvolle Variante. Dies umso mehr, wenn eine vom Teilnehmer angenommene und angewendete Methode seinen tatsächlichen aktuellen Kenntnisstand widerspiegelt und dem Referenten gleichzeitig eine Rückmeldung über den aktuellen Lernerfolg gibt. Diese Art der Lernerfolgskontrolle fördert mit großer Wahrscheinlichkeit den Prozess der Nachhaltigkeit.

2.4. Virtuell interaktives 3-D-Training für betriebliche Prozesse: Sicheres Umfüllen von brennbaren Flüssigkeiten - Betrieblicher Brand-und Explosionsschutz

Aufgrund der Vielfalt und Mengen an eingesetzten brennbaren Flüssigkeiten ist der sichere Umgang damit und somit die Vermeidung von Unfällen sowie erheblichen Sach- und Umweltschäden ein wichtiges Thema in vielen Seminaren des Angebotes der BG Chemie.
Speziell für diesen Bereich hat die BG Chemie daher zusammen mit dem Fraunhofer- Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung ein virtuell interaktives

3-D-Trainingsszenario entwickelt. Nach dem Erst-Einsatz auf dem Stand der BG Chemie auf der ACHEMA 2009 wird es -vermutlich ab Jahresende 2009- im Bildungszentrum der BG Chemie in Maikammer als fester Bestandteil dieser Thematik regelmäßig eingesetzt.
Mit der VR-Technologie wird ein dreidimensionaler Arbeitsraum gestaltet, in dem Verfahren realitätsnah, aber gefahrlos demonstriert und trainiert werden können. Der Aufwand für reale Versuchsaufbauten mit entsprechenden Sicherungsmaßnahmen (der in einem Bildungsbetrieb auch gar nicht möglich wäre) entfällt. Ziel ist es, die Wahrnehmung und das Verhalten der Trainierenden mit realistischen Aufgaben zu schulen.
Als Grundlage für das interaktive 3-D-Training wurde eine virtuelle Fabrikhalle geschaffen, in die künftig auch weitere Module integriert werden können. Für die Umsetzung der Trainingsziele wurde auf Basis realer Prozesse ein exemplarisches idealtypisches Vorgehen entwickelt und dargestellt. Dazu gehören die Auswahl der persönlichen Schutzausrüstung, der Aufbau des Arbeitsplatzes zum Umfüllen brennbarer Flüssigkeiten sowie das Umfüllen und das Abrüsten des Arbeitsplatzes. Mögliche Gefahren und Zündquellen werden beispielhaft demonstriert. Die in der Realität auftretenden Gefahren sind jedoch sehr vielfältig und die Umstände, Ursachen und Kausalketten sehr komplex. Um hier ein authentisches Szenario zu realisieren wurden zusammen mit Experten der BG Chemie basierend auf bisherigen Ereignissen und Erkenntnissen wesentliche Gefahren generiert und bewertet. Sie wurden als zufällig auftretende Ereignisse in die Testlektionen integriert. Diese Ereignisse werden bei fehlerhaftem Verhalten durch den Nutzer selbst verursacht oder durch umgebende Faktoren beeinflusst, wie defekte Pumpen oder liegen gelassene Gegenstände. Trainingsziel ist nicht nur das Erlernen und Üben der korrekten Vorgehensweise. Wichtig ist auch die Wahrnehmung der Umgebung, des explosionsgefährdeten Bereiches und potenzieller Gefahren. Kritische Einflussfaktoren, die zu Unfällen führen können, werden in den Testlektionen zufällig und realitätsbezogen eingestreut. Die Nutzer werden mit nahezu realen Problemstellungen konfrontiert, auf die sie entsprechend reagieren müssen.
Je nach Zielgruppe und erforderlichem Wissensniveau kann die Stoffvermittlung jedoch auch weiterhin ausschließlich „klassisch", d.h. mit Präsentation, Diskussion, Videos, Fallbeispielen und gegebenenfalls Experimenten vermittelt werden und das VR-Trainingsmodul anschließend zur Lernerfolgskontrolle verwendet werden. Nach Vorliegen ausreichender Erfahrungen mit dieser neuen Technologie wird – im Rahmen der Möglichkeiten – in der Aus- und Weiterbildung der BG Chemie über weitere Module zur Nutzung dieser neuen Technologie nachgedacht, z.B. eine Erweiterung auf den Unfallschwerpunkt „Innerbetrieblicher Transport und Verkehr" oder auf das Basisthema „Sicherer Umgang mit Gefahrstoffen".

3. Literatur

Berufsgenossenschaft Chemie, Seminare 2009, Seminare für Sicherheit und Gesundheitsschutz

Schulz, Torsten, 4/2009, Sicheres Umfüllen von brennbaren Flüssigkeiten
Virtuell interaktives 3-D-Training für betriebliche Prozesse
Sichere Chemiearbeit

4. Autor

Dr. rer. nat. Gerd Uhlmann
Ausbildungsbereichsleiter

BG Chemie, Zentrum für Arbeitssicherheit Maikammer
Obere Mühle 1
67487 Maikammer

Telefon: 06321 588 418
Telefax: 06321 588 508
E-Mail: guhlmann@bgchemie.de

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Training und Ausbildung

Evaluation of Novelty Complexity in Human-Machine Systems: Application to Cockpit Certification

Prof. Dr. Guy A. Boy

Lebenslauf



Prof. Dr. Guy A. Boy

Senior Research Scientist

Florida Institute for Human and Machine Cognition (IHMC)
40 South Alcaniz Street
Florida 32502 Pensacola
U.S.A.

Telefon: +1 850-202-4479
E-Mail: gboy@ihmc.us

30.6.1977	Master Engineering Degree – Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE-SUPAERO), Toulouse, France
2.7.1980	Doctorate Degree – Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE-SUPAERO), Toulouse, France
30.9.1983	Master Psychology Degree – University of Toulouse, France
30.6.1992	HDR Habilitation Cognitive Science Degree – University of Paris VI Pierre et Marie Curie, FR
30.6.1994	Qualification University Professor Degree – Ministry of Education and Research, France
1.9.1980 – 30.1.1989	Research Scientist and Group Leader at ONERA (The French Aerospace Lab), Toulouse Center, France
20.8.1984 – 31.12.1992	Group Leader at NASA (National Aeronautics and Space Administration) Ames Research Center, California, USA
9.7.1992 – 30.9.2008	Director and President at EURISCO (European Institute of Cognitive Sciences and Engineering), Toulouse, France
15.6.2006	Elected Permanent Member at the Air and Space Academy, France
15.11.2008 – Present	Senior Research Scientist at IHMC (Florida Institute for Human and Machine Cognition), Pensacola, Florida, USA

Evaluation of Novelty Complexity in Human-Machine Systems: Application to Cockpit Certification

Prof. Guy Boy

1. Introduction

Human-centered design and automation are the central themes of this paper that addresses the difficult topic of user-perceived complexity of new artifacts in interactive systems, or novelty complexity for short. A major distinction is made between technology-centered internal complexity and user-perceived complexity. A similar distinction was introduced by Schlindwein and Ray [1] between descriptive and perceived complexity as an epistemological problem of complexity. People perceive complexity as they are acting or need to act in their environment. Such complexity may block them when they cannot see the outcome of their possible actions, i.e., world states are so intertwined that they cannot see a clear and stable path to act correctly! In addition, they may become aware of such complexity after they commit errors and need to recover from them. Therefore, user-perceived complexity is intimately linked to cognitive stability. Technology provides cognitive stability when it either is self-recoverable or supports users with the necessary means to anticipate, interact and recover by themselves. We know that users recover most of their errors when they have the appropriate recovery means, whether they are technological (i.e., tool-based) or conceptual (i.e., training-based). Obviously, the required level of user's experience and expertise may vary according to the cognitive stability of the overall human-machine system.

This paper presents an account of the state-of-the-art on complexity in interactive systems, and knowledge elicited from expert users to better identify how they perceive complexity. A number of knowledge elicitation sessions provided a large set of concepts that were categorized using a paradigm based on a previous framework developed for human-centered design of life-critical systems [2]. Results are commented and synthesized in order to produce an overall abstraction of the novelty complexity concept. This exercise provides a good example of the power of both the group elicitation method and the selected structuring framework, as well as the limitations that may be overcome by taking into account appropriate expertise, assumptions and models. This is where the connection between user-perceived complexity and cognitive stability is extremely useful and thoughtful by considering action as the main driving factor by the designers of interactive systems. The paper concludes in discussing constraints of human-centered design in real-world setups and reasons to take into account complexity and maturity concepts seriously.

2. State of the art

Pylyshyn refered to the equivalence between cognitive complexity and computational complexity. Two different algorithms are equivalent from a complexity viewpoint "when there is a specific topological relation between them" [3] (page 116). Pylyshyn compared programs as instances of generic algorithms. The choice of an algorithm is often made under contradictory requirements. Understandability, transferability and modifiability of an algorithm are generally contradictory to its efficiency. The measure of computational complexity of an algorithm was studied extensively in theoretical computer science [4]. Pedersen dissociated computational complexity into algorithmic and informational complexity, and provided several kinds of complexity definitions [5]. He distinguished objective and subjective complexity, system complexity, representational complexity and agent-related complexity.

Card introduced KLM (*Keystroke-Level Model*) [6] and GOMS (*Goals, Operators, Methods and Selection rules*) [7] to study text processing in office automation. KLM and GOMS enable the prediction of the required time to perform a specific task. They assume task linearity (i.e., tasks can be hierarchically decomposed into sequences), belongs to the class of analytical models, and works well in very closed worlds. Kieras and Polson [8] developed the *Cognitive Complexity Theory* (CCT) as an evolution of GOMS. They proposed several measures of interaction complexity such as the number of necessary production rules and the learning time, as well as the number of items momentarily kept in the working memory in order to predict the probability of errors.

Rasmussen proposed the SRK (i.e., skills, rules and knowledge) model to capture three types of behavior [9]. He also developed an ecological approach based on five levels of abstraction hierarchy. Vicente used this approach to develop the *Cognitive Work Analysis* (CWA) approach [10]. CWA supports ecological interface design, and emphasizes design for adaptation. Javaux and De Keyser [11] defined cognitive complexity of a human-machine situation (in which specific tasks are performed) as the quantity of cognitive resources that a human operator must involve to make sure that tasks are executed with an acceptable level of performance. However, the quantity of cognitive resources is a very limited way to assess cognitive complexity without taking into account qualitative issues. Van Daele made another distinction between situation complexity and the complexity of task and operational goals [12]. He relates complexity to constraints blocking task execution, remote character of goals, multiple goals to be satisfied at the same time, interdependent goals and environment attributes, multi-determination, uncertainty and risks.

Norman proposed a generic model that takes into account human actions, learning, usability and possibility of errors [13]. He proposed the following concepts: physical versus psychological variables; physical versus mental states; goal as a mental state; and intention as a decision to act to reach a goal. He expressed interaction complexity in terms of execution gulf and evaluation gulf. In particular, the distinction between physical and psychological variables reveals complexity factors related to interaction induced by the use of the physical system and the task to be performed.

Amalberti analyzed complexity by making a distinction between nominal and non-nominal situations [14]. He related interaction complexity to action reversibility and effect predictability, the dynamics of underlying processes, time pressure, the number of systems to be managed at the same time, resource management when the execution of a task requires several actors, artifacts representation, risk, factors coming from the insertion of safety-critical systems in cooperative macro-systems and factors related to the human-machine interface, users' expertise and situation awareness.

In the MESSAGE approach [15], interaction complexity was assessed as information-processing difficulty in early glass-cockpit developments. Several difficulty indices were developed including visibility, observability, accessibility, operability and monitorability. These indices were combined with tolerance functions, which were expressed as possibility distributions of relevant user-interface parameters. Subsequent work led to the development of interaction-blocks to model interaction chains between agents in order to better analyze and understand the emerging interaction complexity of underlying operations [2]. Interaction-block development requires the elicitation and specification of various interaction contexts, and therefore structuring various relevant situations. Five generic interaction-block structures were proposed including sequence, parallel blocks, loop, deviation, hierarchy and blocks leading to either weak or strong abnormal conditions [16].

While an aircraft and a nuclear power plant are life-critical systems, nowadays the mobile phone has become indispensable in our everyday life becoming a life-critical system for many people! More generally, life-critical systems are complex highly-computerized interactive systems that require an acceptable level of efficiency, comfort and/or safety. Such interactive systems are expected to provide acceptable cognitive stability. Consequently, this paper proposes to analyze complexity in human-computer interaction in terms of cognitive stability.

3. Complexity and Cognitive Stability

The concept of cognitive stability [17] supports the concept of procedural interface that takes into account four mains high-level requirements, i.e., simplicity of use (as opposed to user-perceived complexity), observability/controllability, redundancy and cognitive support [20]. When a human being controls a system, there are two main questions that arise: (1) is the system observable, i.e., are the available outputs necessary and sufficient to figure out what the system does? (2) Is the system controllable, i.e., are the available inputs necessary and sufficient to appropriately influence the overall state of the system? A mental model is developed to control a system, associating observable states to controllable states [9] [13]. There is a compromise to be made between controlling a system through a large set of independent observable states and a small set of integrated observable states. "… The larger the number of degrees of freedom in a system, the more difficult it is to make the system behave as desired (i.e., perceived complexity is higher). Simply counting degrees of freedom, however, oversimplifies the issue. It is the manner in which degrees of freedom interact that determines the difficulty of controlling a system. For example, if the n degrees of freedom of a system are independent of one another, then the controlling system needs only to process an algorithm that is adequate for the control of a single degree of freedom; the algorithm can be replicated n times to control the overall system. Conversely, if the degrees of freedom are dependent (that is, if the effects of specifications of values for a particular degree of freedom depend on the values of other degrees of freedom), then a team of independent controllers is no longer adequate, and more complex control algorithms must be considered." [27].

The interface of a system is characterized by a set of *n* observable states or outputs $\{O_1, O_2, \dots O_n\}$, and a set of *m* controllable states or inputs $\{I_1, I_2, \dots I_m\}$. The interface is redundant if there are *p* outputs ($p<n$), and *q* inputs ($q<m$) that are necessary and sufficient to use the system. The remaining (n-q) outputs and (m-q) inputs are redundant interface states when they are associated with independent subsystems of the overall system. These redundant states need to be chosen in order to assist the user in normal, abnormal and emergency situations. In aircraft cockpits, for example, several instruments are duplicated, one for the captain and another for the copilot. In addition, some observable states displayed on digital instruments are also available on redundant traditional instruments. Controlling a system state-by-state with the appropriate redundant information is quite different from delegating this control activity to an automaton. New kinds of redundancy emerge from the use of highly automated systems. Traditional system observability and controllability usually deal with the *What* system states. The supervision of highly-automated or software-rich systems requires redundant information on the "why", "how", "with what" and "when" in order to increase insight, confidence, and reliability: *Why* the system is doing what it does? *How* to obtain a system state with respect to an action using control devices? *With what* other display or device the current input/output should be associated?

Cognitive stability is analyzed using the metaphor of stability in physics. Stability can be static or dynamic. Static stability is related to the degrees of freedom, e.g.,

an object in a three-dimensional world is usually defined by three degrees of freedom. A chair is stable when it has (at least) three legs. Human beings are stable with two legs, but this is a dynamic stability because they have learnt to compensate, often unconsciously, their instability. When an object is disturbed by an external event there are usually two cases: a case where the object returns to its original position, we say that the object is in a stable state; and a case where the object diverges from its original position, we say that the object is (or was) in an unstable state. When a user acts erroneously, there are two cases: a case where the user recovers from his or her erroneous action, we say that the user is in a stable state; and a case where the user does not recover from his or her erroneous action, we say that the user is (or was) in an unstable state. There are human erroneous actions that may be tolerated, and others that should be blocked. Error tolerance and error resistance systems are usually useful redundancy. Error tolerance is always associated to error recovery. There are errors that are good to make because they foster awareness and recovery. However, recovery is often difficult, and sometimes impossible, when appropriate resources are not available. The concept of action reversibility should be put forward and exploited whenever a user can backtrack from an erroneous action, and act correctly. The UNDO function available on most software applications today provides a redundancy to users who detect typos and decide to correct them. Thus, making typos is tolerated, and a recovery resource is available. Error resistance is, or should be, associated to risk. Error-resistance resources are useful in life-critical systems when high risks are possible. They may not be appropriate in low-risk environments because they usually disturb task execution. For example, text processors that provide permanent automatic grammar checking may disturb the main task of generating ideas. Inappropriate learning and training, poor vigilance, fatigue and high workload are important adverse influences on cognitive stability.

4. What is Novelty Complexity?

Current literature does not address the issue of novelty that is naturally included in any design of interactive systems nowadays. We are constantly dealing with transient evolutions and sometimes revolutions without addressing properly the issue of coping with user-perceived complexity of new artifacts in interactive systems.

4.1. Complexity and Maturity

People interact with a computer everyday without noticing its internal complexity... fortunately! This was not the case only thirty years ago. People who were using a computer needed to know about its internal complexity from both architectural and software points of views. Computer technology was not as mature as it is today. Computer users were essentially programmers. Today, almost everybody uses a computer. However, internal complexity may become an issue in abnormal or emergency situations.

Internal complexity is about *technology maturity*. Maturity is a very complex matter that deals with the state of evolution of the technology involved, and especially reliability. Are both the finished product and related technology stabilized? Internal complexity of artifacts that are mature and reliable, i.e., available with an extremely low probability of failure, is not or barely perceived. In other words, when you can delegate with trust and the work performed is successful, the complexity of the delegate is not an issue. However, when it fails, you start to investigate why. You look into the “black-box”! For that matter, the “black-box” should become more transparent, i.e., an appropriate level of complexity must be shown to the user.

This implies that the user should be able to interpret this complexity. Therefore, either the user is expert enough to handle it or needs to ask for external help.

Perceived complexity is about *practice maturity*. Product maturity analysis is also a matter of user experience of this technology. Is this technology appropriate for its required use? How and why do, or don't, users accommodate to and appropriate the technology? Answers to this question contribute to better understand perceived complexity, and further develop appropriate empirical criteria. Perceived complexity is a matter of the relation between users and technology. Interaction with an artifact is perceived as complex when the user cannot do or has difficulty doing what he or she decides to do with it. Note that users of a new artifact still have to deal with its reliability and availability, which are not only technological, but are also related to tasks, users, organizations and situations. This is why novelty complexity analysis requires a solid structuring into appropriate categories.

It would be a mistake to consider that a user who interacts with a complex system does not build some expertise. He or she cannot interact efficiently with such an artifact as a naive user. For new complex tasks and artifacts, there is an adaptation period, full stop! Why? The answer is usually very simple. Complex artifacts such as airplanes or mobile phones providing personal digital assistants, cameras and other services, are prostheses. The use of such prostheses requires two major kinds of adaptation: mastering capacities that we did not have before using them, i.e., flying or interacting with anyone anywhere anytime; and measuring the possible outcomes of their use, mainly in terms of social issues. All these elements are very intertwined dealing with responsibility, control and risk/life management. Therefore, the criteria that will be given cannot be used for analysis by just anyone. They must be used by a team of human-centered designers who understand human adaptation.

4.2. Complexity and Maturity

The AUTO tetrahedron [2] was introduced to help designers relate four entities: Artifact, User, Task and Organizational environment. Artifacts may be systems, devices and parts for example. Users may be novices, experienced or experts, coming from and evolving in various cultures. They may be tired, stressed, making errors, old or young, as well as in very good shape. Tasks may be at various levels including regular manipulation, process control, repairing, designing, supplying, or managing a team or an organization. Each task corresponds to one or several cognitive functions that users must learn and use. The AUT triangle (Figure 1) enables the explanation of three edges: task and activity analysis (U-T); information requirements and technological limitations (T-A); ergonomics and training (procedures) (T-U).

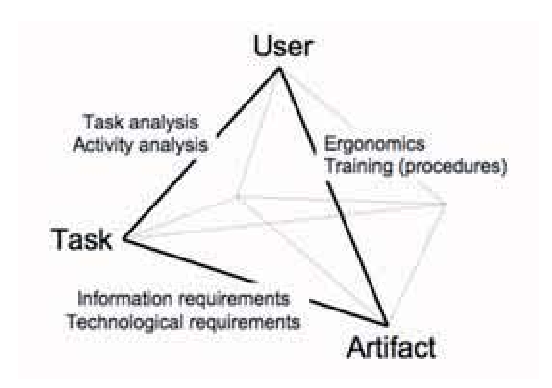


Fig. 1: The AUT Triangle.

The organizational environment includes all the agents that interact with the user performing the task using the artifact (Figure 2). It introduces three edges: social issues (U-O); role and job analyses (T-O); emergence and evolution of artifacts in the organizational environment (A-O).

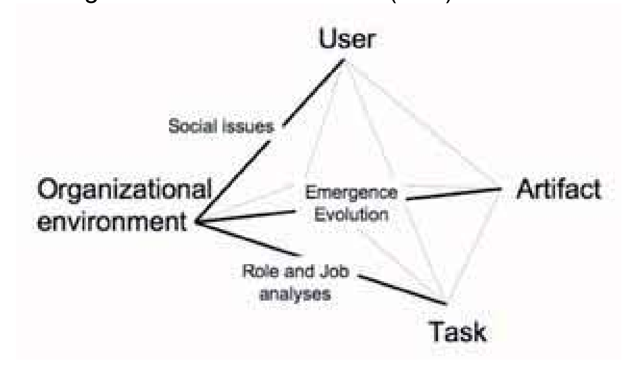


Fig. 2: The AUTO Tetrahedron.

The AUTOS pyramid (Figure 3) is an extension of the AUTO tetrahedron introducing the “Situation”, as a new dimension that was implicitly included in the “Organizational environment”. The three new edges are: usability/usefulness (A-S); situation awareness (U-S); situated actions (T-S); cooperation/coordination (O-S).

The AUTOS pyramid is proposed as a framework for the categorization and development of novelty complexity criteria in relation to empirical methods. Each couple {criteria; methods} is associated with an edge of the AUTOS pyramid, e.g., the edge U-T is associated with task and activity analyses appropriate to the analysis of the perceived complexity of a system, device or user interface. What has been called the “novelty complexity” is not only the artifact complexity, but also the perceived complexity of the other entities of the AUTOS pyramid.

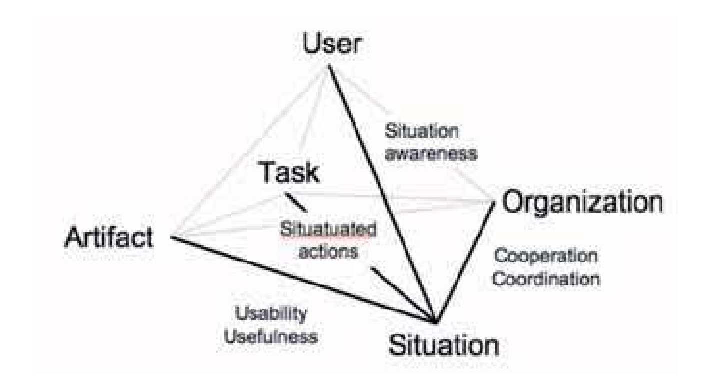


Fig. 3: The AUTOS Pyramid.

5. Results from GEM Sessions and Interviews

5.1. What is a GEM session

The Group Elicitation Method (GEM) [18] is a computer-supported brainwriting technique that enables contradictory elicitation of viewpoints from various (field) domain experts, augmented with a classification method that enables the categorization of these viewpoints into structured concepts. The participants to the GEM session then score these concepts, i.e., each participant assigns a priority and an averaged consensus is computed for each concept. Ordered concepts are shared for a final debriefing where participants verify and discuss their judgments.

A typical GEM session optimally involves seven experts (or end-users) and contributes to the generation of 10 to 30 concepts. Sometimes GEM is criticized because it provides very basic viewpoints from field people that cannot be abstracted into high-level concepts. It is important to note that an expert in the field familiar with abstraction-making facilitates the concept categorization phase. In addition, a structuring framework or model such as the AUTOS pyramid is very useful to further refine the categorization of the produced concepts. In the current research effort, we carried out three GEM sessions involving 11 airline pilots and 7 cognitive engineers, and two structured interviews of two certification test pilots. 49 raw concepts were generated. They were refined into a concept map (CMap) presented in the following section. A CMap is not only a graphical presentation of interrelated concepts of a domain [19], but also a very good integrating framework for relating concepts among each other. In this approach to novelty complexity analysis, if a CMap was generated from an extensive user-experience gathering effort, it is still an initial contribution that provides useful and meaningful directions for further research and development. We used it to derive high-level criteria for the analysis of novelty complexity.

5.2. A CMap of Generated Concepts on Novelty Complexity

The central concept of “novelty complexity” is connected to five sub-CMaps (Figure 4): CM-1 for “user experience”, CM-2 and CM-3 for the “artifact”, CM-4 for the “task”, and CM-5 for both “organization” and “situation”. The various relationships between the five first-level concepts characterize the edges of the AUTOS pyramid.

User experience (CM-1) concepts include training (expertise), trust, risk of confusion, lack of knowledge (ease of forgetting what to do), workload, adhesion and culture. It induces several cognitive functions such as learning, situation awareness (that involves understanding, short-term memory and anticipation), decision-making and action (that involves anticipation and cross-checking). To summarize, a U-complexity analysis deals with *user’s knowledge, skills* and *expertise* on the new artifact and its integration.

Artifact complexity is split into internal complexity and interface complexity. Internal complexity (CM-2) is related to the degree of explanation required to the user to understand what is going on when necessary. Concepts related to artifact complexity are: flexibility (both system flexibility and flexibility of use); system maturity (before getting mature, a system is an accumulation of functions — the “another function syndrome”— maturity is directly linked to function articulation and integration); automation (linked to the level of operational assistance, authority delegation and automation culture); and operational documentation. Technical documentation complexity is very interesting to be tested because it is directly linked to the explanation of artifact complexity. The harder an artifact is to use, the more related technical documentation is required and therefore it has to provide appropriate explanation at the right time in the right format.

Interface complexity (CM-3) is characterized by content management, information density and ergonomics rules. Content management is, in particular, linked to information relevance, alarm management, and display content management. Information density is linked to decluttering, information modality, diversity, and information-limited attractors, i.e., objects on the instrument or display that are poorly informative for the execution of the task but nevertheless attract user’s attention. The “PC screen do-it all syndrome” is a good indicator of information density (elicited improvement-factors were screen size and zooming). A clear and understandable language was the focus of ergonomics rules, and error tolerance, redundancy and information saturation were proposed as typical indicators.

Redundancy is always a good rule whether it repeats information for cross-checking, confirmation or comfort, or by explaining the “how”, “where”, and “when” an action can be performed. Ergonomics rules formalize user friendliness, i.e., consistency, customization, human reliability, affordances, feedback, visibility and appropriateness of the cognitive functions involved. Human reliability involves human error tolerance (therefore the need for recovery means) and human error resistance (therefore the existence of risk to resist to). To summarize, a A-complexity analysis deals with the level of necessary *interface simplicity, explanation, redundancy* and *situation awareness* that the new artifact is required to offer to users.

Organization complexity (CM-4) is linked to social cognition, agent-network complexity, and more generally multi-agent management issues. There are four principles for multi-agent management: agent activity (i.e., what the other agent is doing now and for how long); agent activity history (i.e., what the other agent has done); agent activity rationale (i.e., why the other agent is doing what it does); and agent activity intention (i.e., what the other agent is going to do next and when). Multi-agent management needs to be understood through a role (and job) analysis. To summarize, an O-complexity analysis deals with the required level of *coupling* between the various purposeful agents to handle the new artifact. Situation complexity is usually caused by interruptions and more generally disturbances. It involves safety and high workload situations. It is commonly analyzed by decomposing contexts into sub-contexts. Within each sub-context, the situation is characterized by uncertainty, unpredictability and various kinds of abnormalities. To summarize, a S-complexity analysis deals with the *predictability* of the various situations in which the new artifact will be used.

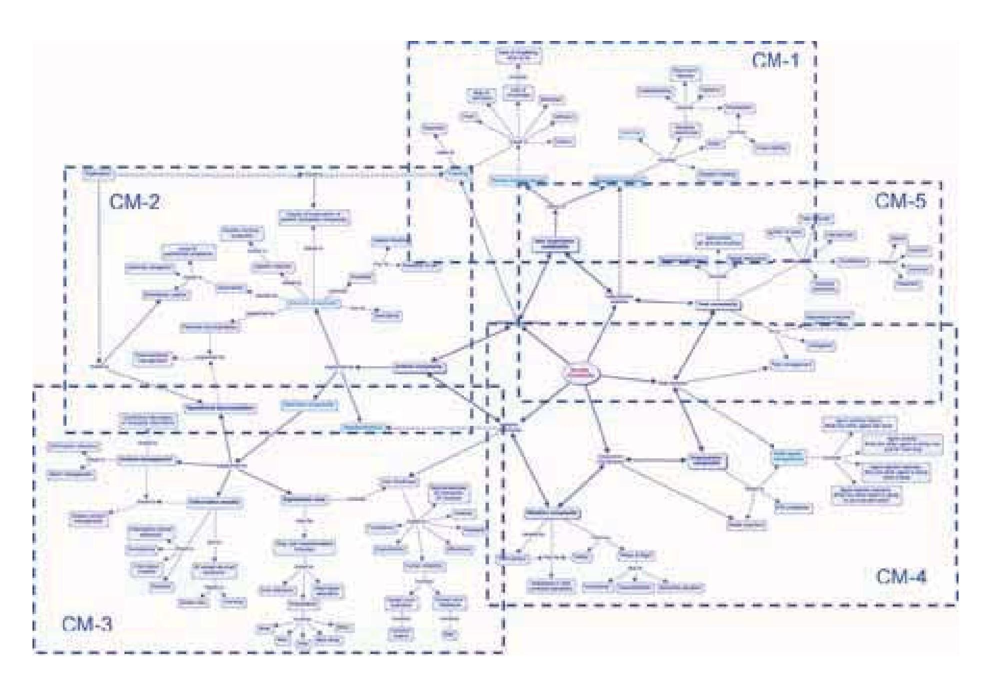


Fig. 4: A “Novelty Complexity” CMap

Task complexity (CM-5) involves procedure adequacy, appropriate multi-agent cooperation (e.g., air-ground coupling in the aerospace domain) and rapid prototyping (i.e., task complexity cannot be properly understood if the resulting activity of agents involved in it is not observable). Task complexity is linked to the number of sub-tasks, task difficulty, induced risk, consistency (lexical, syntactic, semantic and pragmatic) and the temporal dimension (perception-action frequency and time pressure in particular). Task complexity is due to operations maturity,

delegation and mode management. Mode management is related to role analysis. To summarize, a T-complexity analysis deals with *task difficulty* according to a spectrum from best practice to well-identified categories of tasks.

6. A Method for Analyzing Novelty Complexity

Beside providing user requirements, users can be involved in the design process, especially in early stages, if mockups or prototypes are available. We must not forget that designers' and engineers' main asset is creativity. They are the ones who propose solutions. In addition, the human-centered design team needs to take the above dimensions into account to figure out the complexity of these solutions. Since maturity is at stake here, I claim that when high-level requirements are right from the beginning, subsequent developments, when they are carefully carried out, are not likely to lead to deep revisions when the artifact needs to be delivered. For that matter, user-perceived complexity needs to be tested from the very beginning of the design, when first ideas of the artifact start to be drawable or writeable, and all along the design and development process.

6.1. Training Novelty Complexity to Appropriate Analysts

In addition to being familiar with the domain in which the new artifact will be tested, professionals who will have to analyze novelty complexity are required to have a clear awareness of and knowledge on the various relationships among user-perceived complexity and cognitive stability. Perceived complexity is more related to the "gulf of evaluation", and cognitive stability to the "gulf of execution", in Norman's terminology [14]. Even if adaptation is an asset of human beings, their lives are better when technology is adapted to them. Therefore, novelty complexity analysts need to better understand *co-adaptation* of people and technology in the perspective of increasing cognitive stability. Cognitive stability is defined taking the physical metaphor of passive and active stability that respectively involves static and dynamic complexity. These concepts were taken into account to support human-centered design and led to the following major principles that are simplicity, observability and controllability, redundancy and cognitive support [20].

Let's take a biological approach to understand complexity of interactive systems is a matter of finding out the salient parts and their interrelations. Complexity is intimately related to *separability*. When a doctor administers a medication to a patient, he or she has to know the secondary effects of this medication, i.e., acting on a part may have an effect on other parts. When a part, e.g., the respiratory system, is failing, medication is usually provided to treat the lung disease, but this medication may have an impact on other parts of the body, i.e., the whole system. Of course, we will always attempt to separate what is separable in order to simplify! But there will be an end to this separability process. There are "atomic" parts that are not at all separable. These atomic parts live by themselves as a whole, eventually requiring interaction with other atomic parts. The problem is then to figure out how complex they are by themselves and what kind of complexity their interrelations generate. Designers and users of a system may not see the same parts and interrelations, just because they do not have the same tasks to perform, or the same goals to achieve, with respect to the system. They do not "separate" the system in the same way because they do not have to understand the logic of the system in the same way. Separable parts and their interrelations can be seen as a conceptual model. The closest designer's conceptual model is to user's conceptual model, the better. Therefore, people in charge of analyzing novelty complexity need to be aware of the relevant parts and the overall maturity evolution in terms of the AUTOS pyramid.

6.2. AUTOS-Complexity Criteria

Key criteria have been derived from the 62 elicited concepts on novelty complexity presented on the above CMap. They were categorized to fit with the five AUTOS-complexity sets of criteria that follow:

- A-complexity: interface simplicity, required explanation, redundancy and situation awareness.
- U-complexity: user's knowledge, skills and expertise
- T-complexity: task difficulty according to a spectrum from best practice to well-identified categories of tasks.
- O-complexity: required level of coupling between the various purposeful agents to handle the new artifact.
- S-complexity: predictability of the various purposeful situations.

These criteria may be dependent on each other. For example, the analysis of the required explanation (A-complexity criterion) to handle the new artifact is a matter of maturity of the underlying technology. If it is mature, then complexity can be hidden from the user, otherwise it must be shown with the right level of required explanation. Consequently, the user needs to understand the provided explanation, and therefore have the appropriate expertise (U-complexity criterion) and rely on current best practice (T-complexity criterion). Sometimes, a right coupling among actors dealing with the artifact (O-complexity criteria related to cooperation and coordination of activities for example) in predictable situations (S-complexity criterion) simplifies its usage. This example shows the need for designers to master the various categories of novelty complexity criteria and their possible interrelations.

Using novelty complexity criteria is a matter of either expert judgment or decomposition into indicators that enable designers to reach measurable variables. The former methods are usually called subjective, the latter are said to be objective. At some point, subjectivity always enters into the picture! Objective methods are either based on qualitative measures (!) or require strong interpretation of quantitative results in the end. In order to facilitate the job of human-centered design teams, 63 indicators $\{I_j\}$ were developed from the elicited concepts, and related to novelty complexity criteria using a CMap also. To summarize, a criteria C_i is a combination $\mathcal{C}_i$ of several indicators $\{I_j\}$. It is advised to run one or several brainstorming, or GEM sessions, to determine the various appropriate combinations with domain experts. Such combinations can be modified along the analysis process as more knowledge is acquired on AUTOS-complexity of the new artifact being analyzed. The analysis is based on data acquisition methods varying from various kinds of recording, e.g., parameters, verbal protocols and video, to observation, interviews and debriefings.

6.3. Maturity Management

It is expected that AUTOS-complexity varies along the life cycle of an artifact. Therefore, both technology and practice maturities will be taken into account along the life-cycle axis of a product; we call "maturity axis" a sequence of maturity checkpoints and re-design processes up to the entry into service. There are methods that were developed and extensively used to improve the efficiency of software production processes such as Capacity Maturity Model Integration [21]. They partly contribute to assure technology maturity, in the sense of quality assurance. However, these methods do not address directly neither internal complexity nor perceived complexity of the artifact being developed. This is why maturity checkpoints should strongly involve novelty complexity analyses using AUTOS-complexity criteria and indicators.

“Complexity refers to the internal workings of the system, difficulty to the face provided to the user – the factors that affect ease of use. The history of technology demonstrates that the way to make simpler, less difficult usage often requires more sophisticated, more intelligent, and more complex insides. Do we need intelligent interfaces? I don't think so: The intelligence should be inside, internal to the system. The interface is the visible part of the system, where people need stability, predictability and a coherent system image that they can understand and thereby learn.” [22]. Norman’s citation is very important today when we have layers and layers of software piled on top of each other, sometimes designed and developed to correct previous flaws of lower layers. We commonly talk about patches. This transient way of developing artifacts does not show obvious maturity. Technology maturity, and consequently internal complexity, of an artifact can be defined by its integration, reliability, robustness, resilience and availability. As already said, it is always crucial to start with good, high-level requirements that of course will be refined along the way. Problems arise when they are weak!

7. Discussion and Conclusion

The approach presented in this paper is very close to the various methods used in usability engineering [23] [24] [25]. Some indicators could be automated, i.e., a piece of software is attached to the artifact to be tested, formally tested using human models and formulae, empirically tested by test-users, and informally tested using adhoc skills and experience of recognized experts in the domain. The same as for usability testing, it is almost impossible to test novelty complexity using automated and formal methods in a real-world environment such as an aircraft cockpit or a telephone network control room. Some formal measures of cognitive complexity have been applied to very simple keystroke tasks, such as Rauterberg’s theoretical model [26]. In real-world complexity analysis, combinations of reachable indicators are very domain-dependent and AUTOS-centered, i.e., relevant attributes of the AUTOS pyramid should be taken into account. Their construction therefore requires expertise. This is why cognitive engineers should be closely involved in an application domain, or work closely with domain experts. It would be naïve to think that novelty complexity could be understood in one shot; this is why it is intimately linked to maturity, time and continuous revisions of the relevance of the selected AUTOS-complexity criteria and indicators.

People adapt to almost anything, even to artifacts that are very complex to handle, but it is not a reason not to master complexity in interactive systems because complexity comes back to the front in abnormal and emergency situations. In addition, it takes time to learn complex things. On the one hand, user expertise may be necessary when technology-centered internal complexity cannot be ignored for technology maturity reasons. On the other hand, the right information should be provided at the right time in the right format. This is also adaptation, but adaptation of the artifact this time, e.g., designers should take care of appropriate information, symbology, adequate colors and proper color contrast. The same holds for the complexity of the tasks that must be incrementally adapted to simpler and easier usages. However, the focus on the triplet {users, tasks and artifacts} is not enough, complexity is also in the various situations and organizational setups where the triplet elements enter into play. For example, dealing with the unpredicted in real-time usually disturbs cognitive stability; user-perceived complexity increases when end-users have to manage automation under time pressure, and in case of failure, it is almost always “hurry up”! Solutions often involve the execution of a minimal number of actions (vital actions) in minimal time, and the management of action priorities (anticipation and preparation). In order to increase cognitive stability, such solutions should be either prepared in advance using external procedural support or integrated into a procedural interface [20].

The design of a new artifact should start with a good idea! This idea has to be processed by an expert, or an experienced team, who knows the application domain. In addition, it may take a fair amount of time to transform this good idea into a product. Why? Because artifact refinement is the most time-consuming part of product development toward mastering both technology-centered internal complexity and user-perceived complexity. Refinement includes a large number of formative evaluations with end-users, and discovering what kind of new roles or jobs novel technology involves. It takes patience and continuous efforts! The design process should then be guided by a modeling/documentation support in order to incrementally rationalize it. This is even more important to be able to keep track of the design evolution because there is constant co-adaptation of (test) users and the artifact itself. Complexity and maturity of both artifact and induced practice should be well understood in order to correctly drive appropriate design decisions along the human-centered design process.

8. Literature

[1] Schlindwein, S.L. and Ray, I. Human knowing and perceived complexity: Implications for systems practice, *E:CO,* vol. 6, 2004, 27-32.

[2] Boy, G.A. Cognitive function analysis for human-centered automation of safety-critical systems, in *Proc. CHI'98, the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, Los Angeles, CA, 1998, 265 - 272

[3] Pylyshyn, Z.W., *Computation and cognition. Toward a foundation for Cognitive Science*. Cambridge, MA, USA: A Bradford Book. The MIT Press, 1985.

[4] Karp, R.M., Combinatoric, complexity and randomness, *Communications of the ACM,* vol. 29 (2), 1986, 98-111.

[5] Pedersen, S.A., Coping with Objective Complexity, in *Taxonomy for Analysis of Work Domains, first MOHAWC workshop*, Risoe National Laboratory: Roskilde, 1990.

[6] Card, S.K., Moran, T.P. and Newell, A., The keystroke-level model for user performance with interactive systems, *Communications of the ACM,* 1980, 396-410.

[7] Card, S.K., Moran, T.P. and Newell, A., *The Psychology of Human-Computer Interaction*, 1983, Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, N.J.

[8] Kieras, D.E., and Polson, P.G., An approach to the formal analysis of user complexity, *International Journal of Man-Machine Studies,* vol. 22, 1985, 365-394.

[9] Rasmussen, J., *Information Processing and Human-Machine Interaction - An Approach to Cognitive Engineering*, 1986, North Holland.

[10] Vicente, K.J., *Cognitive work analysis: Towards safe, productive, and healthy computer–based work*, 1999, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

[11] Javaux, D. and De Keyser, V., Complexity and its Certification in Aeronautics, in *1997 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Orlando, FL, USA, 1997.

[12] Van Daele, A., Complexity reduction by operators in continuous process control [in French], in *Work Psychology Department,* Liège: Université de Liège, 1993.

[13] Norman, D.A., Cognitive Engineering, in *User-Centered System Design*, D. Norman and S. Draper, Eds. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associate, 1986, 31-61.

[14] Amalberti, R., *Controling safety-critical systems [in French]*. Paris, France: Presses Universitaires de France, 1996.

[15] Boy, G.A. and C. Tessier, Cockpit analysis and assessment by the MESSAGE methodology, in *Proc. 2nd Conference on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems*, 1985, 73-79.

[16] Boy, G.A. *Cognitive Function Analysis*: Ablex Publishing, distributed by Greenwood Publishing Group, Westport, CT, USA, 1998.
[17] Boy, G.A. Perceived complexity and cognitive stability in human-centered design, *Proc. HCI International*, Beijing, China, 2007.
[18] Boy, G.A. The Group Elicitation Method for Participatory Design and Usability Testing, in *Proc. CHI'96, the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, Vancouver, British Columbia, Canada, 1996, 87 - 88.
[19] Canas, A.J., Ford, K.M., Novak, J.D., Hayes, P., Reichherzer, T.R. and Suri, N., Online concept maps: Enhancing collaborative learning by using technology with concept maps," *Sci. Teach,* vol. 68(2), 2001, 49–51.
[20] Boy, G.A. Procedural interfaces, in *Proc. IHM'02 (the Francophone Conference on Human-Computer Interaction)*, Poitiers, France, 2002, ACM Press, New York.
[21] http://www.sei.cmu.edu/cmmi/general/.
[22] Norman, D.A. Complexity versus Difficulty: Where should the Intelligence Be?, in *IUI'02 International Conference on Intelligent User Interfaces.* 2002, Miami, FL, USA.
[23] Nielsen, J., *Usability Engineering*. 1993, Boston, MA: Academic Press.
[24] Polson, P., Lewis, C., Rieman, J. and Wharton, C. Cognitive walkthroughs: A method for theory-based evaluation of user interfaces, *International Journal of Man-Machine Studies,* vol. 36, 1992, 741-773.
[25] Nielsen, J. and Mack, R.L. *Usability Inspection Methods*. 1994, New York: John Wiley & Sons.
[26] Rauterberg, M., How to Measure Cognitive Complexity in Human-Computer Interaction, in *Thirteenth European Meeting on Cybernetics and Systems Research*, University of Vienna, Austria, 1996, 815-820.
[27] Jordan, M.I. & Rosenbaum, D.A. Action. In *Foundations of Cognitive Science*, Michael I. Posner (Ed.). The MIT Press, Cambridge, MA, 1989

Abstract

This paper presents an approach to analyzing user-perceived complexity of new artifacts in interactive systems, or novelty complexity for short. The original goal of this research effort was to define user-perceived complexity criteria and related methods that would enable a human-centered design team to better anticipate the impact of novelty complexity on efficiency, safety and comfort. People perceive complexity as they are acting or need to act in their environment, especially when this environment changes. A major distinction is made between technology-centered internal complexity, and user-perceived complexity. They are analyzed along a maturity axis. A number of complexity-related concepts have been elicited from experts using appropriate knowledge acquisition methods. Results were synthesized into empirical criteria and methods for novelty complexity analysis useful during the whole life-cycle of a design process. A discussion is started on human-centered design based with respect to complexity and maturity issues.

Author

Prof. Dr. Guy A. Boy
Senior Research Scientist

Florida Institute for Human and Machine Cognition
40 South Alcaniz Street
Florida 32502 Pensacola, U.S.A.

Telephone: +1 850-202-4479
Telefax: +1 850-202-4440
Email: gboy@ihmc.us



Training und Ausbildung

Der virtuelle Facharbeiter (Editor menschlicher Arbeit)

Doz. Dr. sc. techn. Wolfgang Leidholdt
Dipl.-Inf. Sebastian Bauer

Lebenslauf



Doz. Dr. sc. techn. Wolfgang Leidholdt

Leiter des Fachbereichs Vorentwicklung

imk automotive GmbH
Annaberger Straße 73
09111 Chemnitz

Telefon: 0371 400 9741
E-Mail: wolfgang.leidholdt@imk-automotive.de

1973 bis 1977	Studium an der TH Karl-Marx-Stadt (jetzt TU Chemnitz), Fachrichtung Fertigungsprozessgestaltung, Fakultät Maschinenbau und Verfahrenstechnik
1977 bis 1981	TH Karl-Marx-Stadt (jetzt TU Chemnitz): Assistenz auf dem Gebiet "Rechnergestützte Arbeitsplanung"
1982	Promotion zum Dr.-Ing. auf dem Gebiet Fertigungsprozessgestaltung
1981 bis 1985	VEB Fritz Heckert, Karl-Marx-Stadt: Arbeitsplaner und später Gruppenleiter "Prismatische Teilefertigung"
1985 bis 1996	Dozentur an der TH / TU Chemnitz auf den Gebieten Fertigungsprozessgestaltung (Methodik der Arbeitsplanung) und Fertigungstechnik (Teilefertigung, Montage)
1988	Habilitation auf dem Gebiet "Technischer Informationsfluss im Unternehmen"
1996 bis 1998	Sachsenring Fahrzeugtechnik GmbH, Zwickau: Leiter Arbeitsvorbereitung
1999 bis 2001	Sachsenring Entwicklungsgesellschaft mbH, Zwickau: Leiter Prozessentwicklung
2001 bis 2002	IMK Engineering GmbH, Frankenberg: Leiter Planung
seit 11/2002	imk automotive GmbH, Chemnitz: Leiter Planung
Seit 07/2006	imk automotive GmbH, Chemnitz: Leiter Vorentwicklung

Lebenslauf



Dipl.-Inf. Sebastian Bauer

Vorentwicklung

imk automotive GmbH
Annaberger Straße 73
09111 Chemnitz

Telefon: 0371 400 9753
E-Mail: sebastian.bauer@imk-automotive.de

2001 bis 2006	Studium an der Technischen Universität Chemnitz, Studiengang Angewandte Informatik, Vertiefungsrichtung Graphische Datenverarbeitung / Medieninformatik
Seit 2006	imk automotive GmbH, Chemnitz: Software-Entwickler

Der virtuelle Facharbeiter (Editor menschlicher Arbeit)

Dr. Doz. Sc. techn. Wolfgang Leidholdt, Dipl.-Inf. Sebastian Bauer

1. Einleitung

Die Firma imk automotive GmbH in Chemnitz entwickelt den »Editor menschlicher Arbeit« (kurz: »EMA«) – eine Software zur Planung und Visualisierung manueller Tätigkeiten. Sie ist gedacht als Erweiterung der Planungssoftware »DELMIA«, als Plugin für andere Planungssysteme und auch als eigenständige Lösung. Ziel des »EMA« ist es, den bestehenden Mangel der Modellierung und Visualisierung menschlicher Tätigkeiten im Umfeld der digitalen Fabrik zu beheben. Es soll ein Werkzeug geschaffen werden, welches anhand eines algorithmisch gesteuerten, digitalen Menschmodells den Workflow zur Erzeugung von Simulationen manueller Arbeiten optimiert und diese mit vorhandenen Planungs-Methoden (Sollzeitbestimmung, Ergonomie-Bewertung, etc.) verknüpft.

2. Der Mensch in der digitalen Fabrik

Unter dem Schlagwort »Digitale Fabrik« vereinten sich in den letzten Jahren Anstrengungen, die Produktionstechnik durch den Einsatz moderner Computersysteme zu revolutionieren. Dahinter steht die Vision, den gesamten Entstehungsprozess von Produkten virtuell abzubilden. Im Zuge der Digitalisierung entstehen die Instrumente, um Gesamtsysteme dynamisch optimieren zu können. Die einzelnen Komponenten bei der Fabrikplanung, beginnend bei der Architektur der Halle, übergehend zur Gestaltung der einzelnen Arbeitsplätze bis hin zur Arbeitsablauf-Organisation beeinflussen sich gegenseitig. Deswegen ist die Einbeziehung all dieser Teilprobleme in die Gesamt-Konzeption wünschenswert. In Form einer »Digitalen Fabrik« können somit nahezu alle Eventualitäten und Probleme im Vorfeld untersucht werden. Eine wichtige Komponente der »Digitalen Fabrik« ist neben der Darstellung der notwendigen 3D-Modelle insbesondere die Visualisierung von Bewegungen und Abläufen. Der Bereich der automatisierten Abläufe, beispielsweise zur Simulation von Montage-Robotern und auch Logistik-Prozesse, ist bereits durch integrierte Visualisierungslösungen abgedeckt. Hier können bei der virtuellen Erprobung Fehlerquellen und Risiken frühzeitig erkannt und gegebenenfalls beseitigt werden. Insbesondere bei den Montage-Prozessen ist aber auch noch immer die menschliche Arbeit aufgrund ihrer Flexibilität gegenüber Maschinen und Automaten von großer Bedeutung und somit wichtiger Erfolgsfaktor. Umso schwerwiegender ist der Mangel an geeigneten Softwarewerkzeugen, um diesen Bereich effizient zu erfassen und im Voraus planen und visualisieren zu können.

Unsere Forschungsarbeit zielt auf eine Vervollständigung der für die »Digitale Fabrik« benötigten Modelle ab. Bewegungsmodelle des Menschen sollen als Bindeglied zwischen der visuellen Repräsentation und den methodischen Untersuchungen dienen. Die Bewegungen, die ein Menschmodell liefert, sollen primär genutzt werden, um die Ausführbarkeit der geplanten Tätigkeiten und die Richtigkeit der zeitlichen Bewertung zu verifizieren. Aktuell wird aber auch den ergonomischen und arbeitschutzrechtlichen Aspekten der Ablauf- und Arbeitsplatzgestaltung eine immer größere Bedeutung zuteil.

Bereits bevor computergestützte Planungssysteme verfügbar waren, entstanden arbeitswissenschaftliche Modelle, um häufig untersuchte Sachverhalte der menschlichen Arbeit abbilden zu können. Die Erkenntnisse stammten hauptsächlich aus Beobachtungen und daraus resultierenden Zeitbestimmungen

und -schätzungen. Im Gesamtkomplex des Systems einer »Digitalen Fabrik« sind jedoch ohne gesicherte Bewegungsmodelle des Menschen keine Untersuchungen dynamischer und ergonomischer Sachverhalte möglich. Außerdem lässt die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse, die mithilfe der Visualisierung an unbewegten Werkern gewonnen wurde, zu wünschen übrig. Gerade in der Visualisierung und Simulation von Planungsergebnissen, die für noch nicht realisierte, neue Fabriken und Anlagen erstellt wurden, liegt aber das Hauptpotential der »Digitalen Fabrik«.

3. Grundidee

Grundidee ist die Planung mit Hilfe von so genannten »Verrichtungen«. Diese umfassen – in Anlehnung an die üblichen Beschreibungsformen für manuelle Arbeit – fest definierte Arbeitsumfänge, die mit einer Grundmenge von Parametern ausgestattet sind. Anhand der Parameterbelegung wird

- für die gesamte Verrichtung die durch international anerkannte Verfahren ermittelte Ausführungszeit der Tätigkeit bestimmt,
- und eine komplette technisch und ergonomisch richtige 3D-Visualisierung des Arbeitsablaufes erzeugt.

Typische Verrichtungen sind:

- Entnehmen eines Werkstückes aus einem Behälter und Einlegen in die Vorrichtung
- Schweißen von [n] Schweißpunkten
- Montieren eines Aggregats mit [n] Schrauben
- Auftragen einer Kleberaupe der Länge [n] Meter
- Eindrücken von [n] Clipsen

Diese Art der Planung wurde bislang ausschließlich in tabellarischer / textlicher Form durchgeführt, stellt hohe Ansprüche an das Vorstellungsvermögen des Planers und barg gleichzeitig ein hohes Fehlerrisiko. Durch die Erweiterung der Tätigkeitsbeschreibung um eine tatsächliche Visualisierung des Bewegungsablaufs im Kontext seiner geometrischen Umgebung können Fehler in der Planung nahezu ausgeschlossen werden. Weiterhin könnten die dadurch zusätzlich gewonnenen Daten die Grundlage für weiterführende Untersuchungen (Ergonomie am Arbeitsplatz, Erreichbarkeitsanalysen, …) bieten. Der Einsatz der entstehenden Visualisierungen als anschauliches Schulungs- und Präsentationsmaterial ist ebenfalls denkbar.

4. Realisierung

Die 3D-Visualisierung manueller Arbeitsumfänge war bisher mit der Manipulation einzelner Gliedmaßen des Menschmodells durch den Planer verbunden. Die digitalen Menschmodelle sind im Prinzip "dumme Trickfilmpuppen", die zwar alle Bewegungen des Menschen ausführen können, aber ohne jeden technischen Sinn und Verstand. Demgegenüber sind die Verrichtungen des Ansatzes der Firma imk automotive GmbH auf dem Niveau angesiedelt, mit dem der Planer mit dem Facharbeiter in der Produktion kommuniziert. Das bringt eine ganz erhebliche Akzeptanz der Planungssoftware.



Abbildung 1: Werker an der Schweißvorrichtung

Abbildung 1 zeigt eine Verrichtung »Setzen Schweißnaht MAG an Teil auf Tisch«. Die Produkte, die Vorrichtung und das Werkzeug Schweißpistole sind bereits als Modelle vorhanden. Als Parameter werden eingegeben:

- Der Standplatz des Werkers vor der Vorrichtung,
- der Werker, der es ausführen soll,
- das Werkzeug Schweißpistole,
- die Benennung der Schweißnaht als Fastener-Objekt nebst Schweißrichtung.

Die Verrichtung beinhaltet einen der Arbeitsaufgabe immanenten Bewegungsablauf sowie die nötigen Algorithmen, die die Intelligenz des Facharbeiters zum selbständigen Handeln nachbilden. Auf diese Weise kann der Planer effizient Verrichtung an Verrichtung reihen und längere Abläufe rationell planen. Die algorithmische Plausibilitätskontrolle hilft dabei, Fehler zu vermeiden. Bei der im Bild gezeigten Arbeit von 3,5 min Gesamtumfang trat wiederholt der Fall ein, dass sich die Schweißpistole außerhalb des Greifbereiches des Werkers befand. Der digitale Werker quittiert dies mit einer Verweigerungsgeste. Der Fehler wird sofort bemerkt.
Zwei weitere Abbildungen sollen die Wirkungsweise verdeutlichen:



Abbildung 2: Teamarbeit

Es ist möglich, beliebig viele Arbeiter simulieren zu lassen. Die Arbeiter lassen sich synchronisieren, indem ein Arbeiter eine Nachricht sendet und andere Werker, durch Start der nächsten Verrichtung, darauf reagieren.

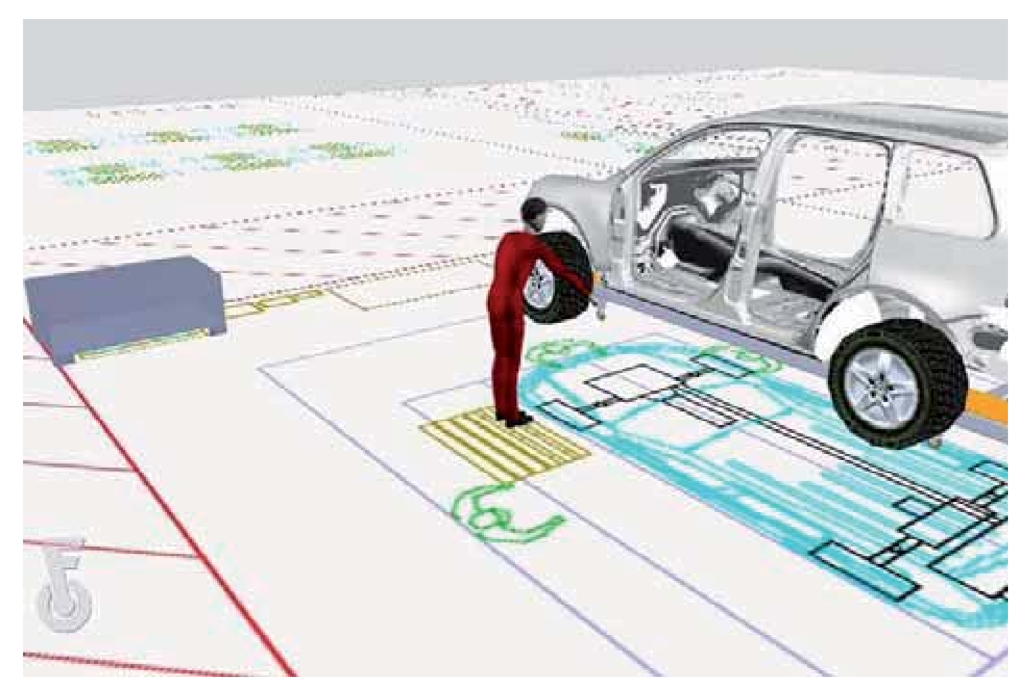


Abbildung 3: Erste Studie im 2-D-Layout

Eine im Planungsablauf frühe Anwendung zeigt Abbildung 3. Hier wurde im 2D-Layout eine Voruntersuchung der Zugänglichkeit und Ausführbarkeit der Arbeit durchgeführt.

5. Forschungsbedarf

Neben den ersten, praktizistischen, trotzdem bereits sehr erfolgreichen Ansätzen ist eine Weiterentwicklung in Richtung wissenschaftlicher Grundlagen der Bewegungen menschlicher Arbeit nötig. Dazu wurden Verbindungen zu wissenschaftlichen Einrichtungen in Chemnitz geknüpft. Forschungsschwerpunkte sind:

- Wie erzeugt der menschliche Wille, etwas zu tun, ein Bewegungsmuster?
- Welchen Bahnen folgt dieses Bewegungsmuster, abhängig von welchen Parametern?
- Wie wird gewährleistet, dass dieses Bewegungsmuster den physikalischen Grundlagen der Gleichgewichtsbedingung – statisch und dynamisch – gehorcht?
- Wie sind dynamische Bewegungsgrößen ergonomisch zu bewerten?

Das Forschungsfeld ist recht weit und es gibt bislang relativ wenige Ansätze. Biomechanische Bewegungen werden heute im Wesentlichen nur analysiert. Das Thema erfordert aber eine Bewegungssynthese. Die gegenwärtigen Grundlagen dafür sind mehr als dürftig. Zum Beispiel wird mit Hilfe des Menschmodells »Dynamicus« des IfM Chemnitz ein dynamisch richtiger Bewegungsablauf analysiert. Die Bewegungssynthese dagegen stellt eine erhebliche Herausforderung dar.

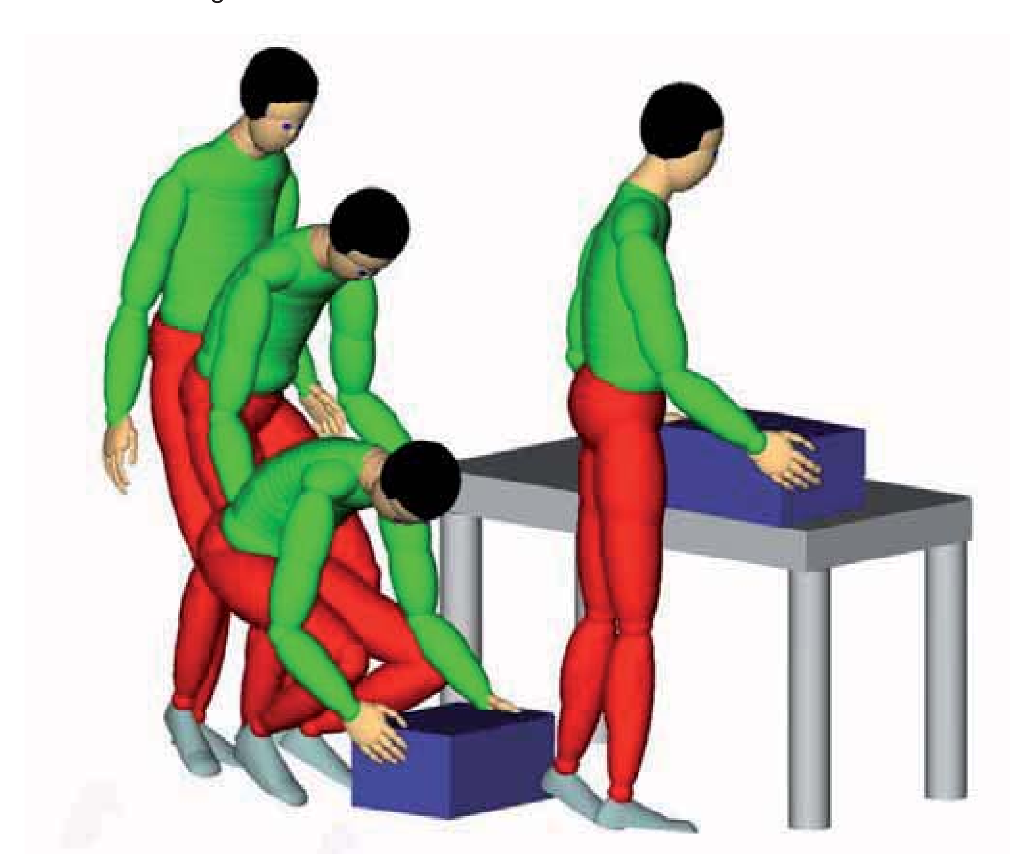


Abbildung 4: Bewegungssynthese mit MKS (Quelle: Institut für Mechatronik e.V. Chemnitz)

Ein Forschungsteam unter Leitung der imk automotive GmbH wird sich diesen Themen nun stellen.

6. Literatur

Chaffin, D. (2001), Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design, Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale.

Chaffin, D.B. (2005), Improving digital human modelling for proactive ergonomics in design, Ergonomics, Vol. 48, Taylor & Francis.

Rößler, A.; Lippmann, R. (1999), Virtuelle Menschmodelle in der Produktentwicklung, Spektrum der Wissenschaft

Dynamicus 5.2 - Referenz- und Benutzerhandbuch, Institut für Mechatronik e.V., Chemnitz, 2008

Härtel, Th.; Hermsdorf, H.: Simulation von Bewegungsabläufen in Kraft- und Techniksportarten, In Edelmann-Nusser, Witte (Hrsg.), Sport und Informatik IX, Bericht zum 6. Workshop Sportinformatik der DVS-Sektion Sportinformatik, Shaker-Verlag Aachen, 2006, (S. 307-313)

Brunner, D., Brunnett, G., Automatic Bone Generation for Character Animation Using the Discrete Medial Axis Transformation, Tagungsband Virtuelle und Erweiterte Realität, 1. Workshop der GIFachgruppe VR/AR, pp. 339-350, Shaker Verlag 2004, ISBN/ISSN 3-8322-3225-7

Mühlstedt, J.; Spanner-Ulmer, B. (2008), Effizienz und Akzeptanz aktueller digitaler Menschmodelle. Gfa-Frühjahrskonferenz, München.

Mühlstedt, J.; Scherf, C.; Spanner-Ulmer, B. (2008), Alles beim Alten? Digitale Menschmodelle und die Simulation des Alters. Produktdesign für alle: für Junge = für Alte?, Tagung, BG-Akademie Dresden.

7. Autoren

Dr. Doz. Sc. techn. Wolfgang Leidholdt
Leiter des Fachbereichs Vorentwicklung

imk automotive GmbH
Vorentwicklung
Annaberger Straße 73
09111 Chemnitz

Telefon: 0371 400 9741
Telefax: 0371 400 9719
E-Mail: wolfgang.leidholdt@imk-automotive.de

Dipl.-Inf. Sebastian Bauer

imk automotive GmbH
Vorentwicklung
Annaberger Straße 73
09111 Chemnitz

Telefon: 0371 400 9753
Telefax: 0371 400 9719
E-Mail: sebastian.bauer@imk-automotive.de

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Training und Ausbildung

Fertigungsunterstützender Einsatz von Mixed Reality im Uboots-Bau

Dipl.-Ing. Michael Riedel

Lebenslauf



Dipl.-Ing. Michael Riedel

Teilprojektleiter Mixed Reality

Howaldtswerke-Deutsche Werft GmbH
Ein Unternehmen der ThyssenKrupp Marine Systems AG
Werftstraße 112-114
24143 Kiel

Telefon: 0431 700 124 196
E-Mail: michael.riedel2@thyssenkrupp.com

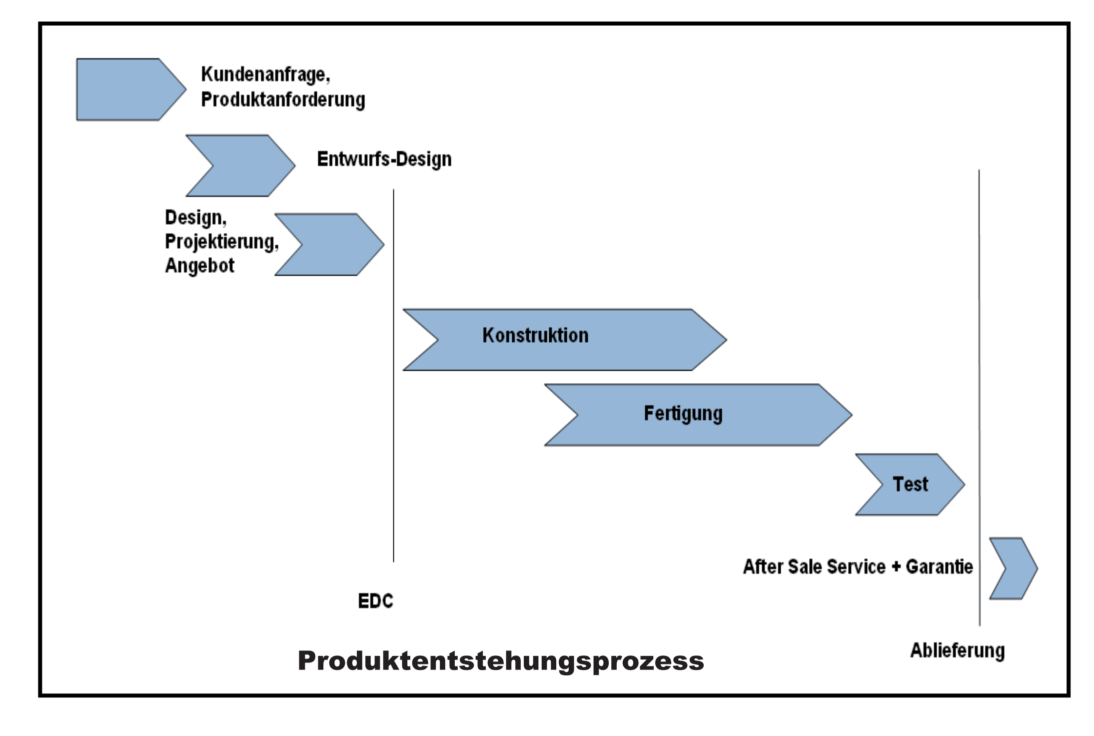
11. Juni 1961	geboren in Kiel
1980	Abitur
1981 - 1985	Maschinenbaustudium an der FH Hamburg
1986 - 1990	Maschinenbauingenieur bei Thyssen Aufzüge in Hamburg
1990 - 1991	freiberuflicher Planungsingenieur HKL und Energieberatung
1991 - 1995	Entwicklungsingenieur bei Kreuter GmbH in Hamburg
1996 - heute	Maschinenbauingenieur bei HDW in Kiel
seit 2005	Teilprojektleiter Mixed Reality

Fertigungsunterstützender Einsatz von Mixed Reality im Uboots-Bau

Dipl.-Ing. Michael Riedel

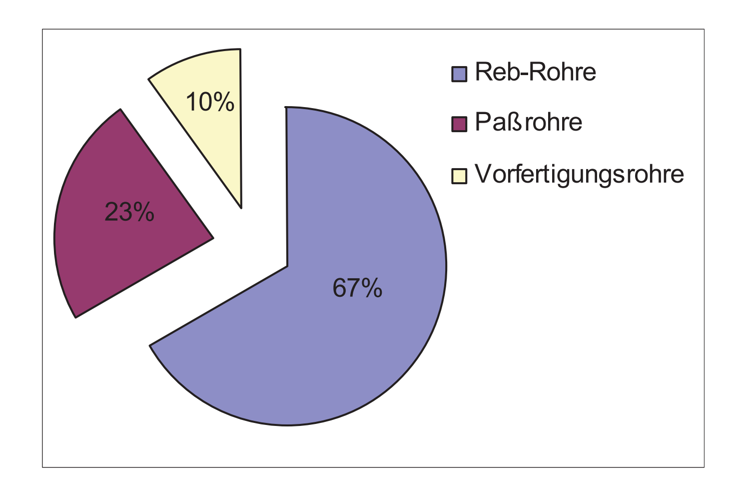
Die Howaldtswerke Deutsche Werft GmbH (HDW) gehören zur weltweit agierenden Thyssen Krupp Marine Systems AG (TKMS). Die TKMS mit ca. 10.400 Mitarbeitern an sieben europäischen Standorten entstand Anfang 2005 aus dem Zusammenschluss der Thyssen Krupp Werften und der HDW Group. Die TKMS gliedert sich in drei Bereiche, Uboote, Überwasserschiffe, Megayachten/Services. Für unsere Kundenmarinen liefern wir maßgeschneiderte Lösungen im Überwasser- und Unterwasserbereich. Verdeutlicht wird dieser Anspruch durch 60 MEKO®-Fregatten und -Korvetten, die in Auftrag gegeben oder bereits in Dienst gestellt sind sowie durch die Korvetten der VISBY-Klasse. Auf dem Feld der nichtnuklearen U-Boot-Technologie ist TKMS Weltmarktführer. Die U-Boote der Klasse 209 sind der weltweit erfolgreichste Typ konventioneller Boote nach dem Zweiten Weltkrieg. Ein technologischer Quantensprung gelang mit den U-Booten der Klassen 212A und 214, die mit dem revolutionären Brennstoffzellenantrieb ausgerüstet sind. Außenluftunabhängig sind auch die schwedischen Boote der Gotland-Klasse, die von einem Stirlingmotor angetrieben werden.
Aber nicht nur im Marineschiffbau hat das Unternehmen seine außergewöhnliche Position im Weltmarkt behauptet. Neben innovativen Mega-Yachten ergänzen Containerschiffe mit einer Tragfähigkeit von 2.700 bis 3.400 TEU das Produktportfolio.
Systemintegration und Dienstleistungen rund um das System Schiff ergänzen das Angebotsspektrum. Dazu gehören die Erstellung von Finanzierungskonzepten für komplexe staatliche und privatwirtschaftliche Aufträge, die Realisierung entsprechender Offset- Geschäfte, integrierte logistische Unterstützung sowie Life Cycle Management für die gesamte Lebensdauer eines Schiffes. Im Rahmen des „Prime Contractorship“ übernimmt TKMS die komplette technische und kaufmännische Abwicklung des Auftrages inklusive der Koordinierung der Unterlieferanten und vom Kunden beigesteuerter Lieferungen und Leistungen.

Den weiter wachsenden Druck des Wettbewerbs im internationalen Schiffsbau muss die deutsche Schiffbauindustrie mit stetig zu verkürzenden Entwicklungszyklen kompensieren. Um die globale Wettbewerbsfähigkeit (der deutschen Werften) nachhaltig zu sichern ist deshalb der effiziente Einsatz von CAx Technologien im Wertschöpfungsprozess unbedingte Voraussetzung.



Besondere Rahmenbedingungen für die rechnerbasierte Konstruktion im Schiffsbau sind allerdings durch die geringen Stückzahlen und die Individualität der Produkte gegeben. Diese individuelle Fertigung erzwingt permanente Adaptionen und Modifikationen im Konstruktionsprozess und einen verteilten Entwicklungsprozess in Kooperation von Fertigung und Planung. Ein permanenter Abgleich von geplanten und gefertigten Bauteilen und eine effektive Kommunikation ist hierbei unbedingte Voraussetzung.
Aufgrund der engen Verzahnung von Konstruktion und Fertigung im Schiffsbau ist ein permanenter Abgleich von real gefertigten Maschinen- bzw. Anlagenteilen und digital konstruierten 3D-Modellen unbedingt erforderlich. Dieser Abgleich soll nicht nur die korrekte Überlagerung von CAD-Modellen und realen Bauteilen beinhalten, ebenso sollen geometrische Differenzen zwischen digitalen und realen Modellen bestimmt und in einem 3D-Differenzmodelle festgehalten werden.

Fertigungsablauf Modellrohre
Bestandteil der maschinenbaulichen Ausrüstung im Ubootsbau sind auch Anfertigung, Einbau und Montage von Rohren. Der Gesamtumfang der rohrbaulichen Ausrüstung von ca. 6000 Rohren verteilt sich in etwa auf 600 Vorfertigungsrohre, 1400 Paßrohre sowie 4000 Reb-Rohre (Bauunterlage nur aus Einbaustückliste bestehend).



Von den Vorfertigungs- und Paßrohren liegen geometrische Informationen in Form von CAD-Modellen vor, die als Grundlage für deren Anfertigung dienen. Aus den CAD-Daten der Vorfertigungsrohre werden PipeFAB-Datensätze (PipeFAB ist eine Software der Fa. Tracto-Technik für den Rohrleitungsbau) für die CNC-Rohranfertigung abgeleitet. Die Soll-Datensätze der Paßrohre müssen bedingt durch schiffbauliche Toleranzen von 10mm an die Ist-Umgebung des Einbauortes angepasst werden. Heute werden für die Aufnahme der Ist-Situation an Bord sogenannte Modelldrähte, entsprechend dem Soll-Rohrverlauf der Passrohre, hergestellt. Diese Modelldrähte werden an Bord an die örtliche Umgebung angepasst. Die angepassten Modelldrähte werden in der Rohrfertigung vermessen, um daraus die für Herstellung nötigen PipeFAB -Datensätze erzeugt.



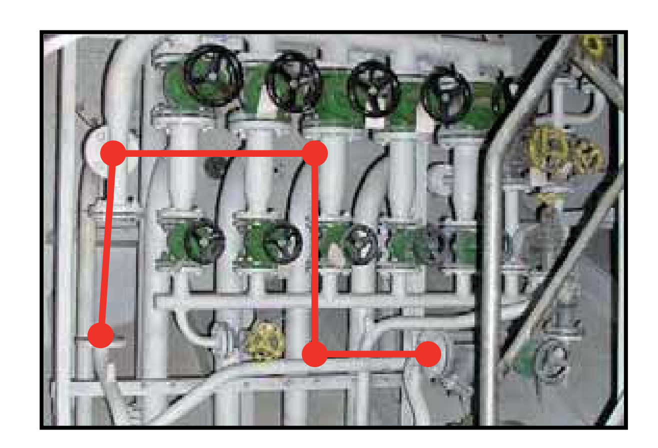


Im Rahmen des Forschungsprojektes AVILUS wird ein Szenario zur Augmented-Reality-unterstützten Anfertigung von Paßrohren entwickelt. Ziel ist es, Fabrikationsdaten für CNC-Biegemaschinen zu generieren. Dazu wird ein mobiles Augmented-Reality-gestütztes Modellierungssystem entwickelt.

Zur Realisierung des Szenarios „Virtueller Modelldraht“ werden die folgenden Verfahren entwickelt:

- Initialisierung AR-System
  Der Werker bzw. Konstrukteur ist mit dem mobilen AR-System ausgestattet und steht vor dem Schiffsteil, für das das Rohrsystem modelliert wird. Zur Initialisierung des Tracking werden die Kantenmodelle des Schiffsteils herangezogen, die aus den CAD-Daten abgeleitet werden. Die Initialisierung des Tracking soll aber nicht nur aus einer vorherbestimmten Blickrichtung durchführbar sein, sondern unabhängig von der Startposition geschehen.
  Nach der Initialisierung wird mittels eines hybriden Trackingverfahrens (Kombination Inertialsensorik, Computer Vision) ein robustes und instrumentierungsfreies Bild-zu-Bild Tracking gestartet.

- Visualisierung virtuelles Rohrsystem
  Zur Visualisierung des Rohrsystems wird ein Loader für das PipeFAB Format entwickelt. Dieser Loader generiert ein Linienzugmodell für die Visualisierung. Neben dem Linienzug können hier auch Parameter (z.B. Winkel, Längen, Rohrdurchmesser) ausgegeben werden

  Ebenso wird ein Konverter entwickelt, der aus der PipeFAB-Datei ein 3D-Modell des Rohres generiert. So werden etwa Rohrstücke, die in PipeFAB durch Längen, Winkel und Durchmesser spezifiziert sind, im 3D-Modell durch Zylinder-Modelle visualisiert. Flansche und Armaturen werden durch eine Boundingbox visualisiert, da ihre Daten im PipeFAB Format nicht verzeichnet sind.

- Visualisierung Kollisionsflächen
  Das 3D-Modell wird zur Kollisionsdetektion verwendet. Zur Kollisionskontrolle wird zunächst überprüft, welche Boundingboxen (von Schiffsteilen und von Rohrabschnitten) kollidieren. Bei kollidierenden Boundingboxen werden über Strahltests die Polygone, in denen sich die Modelle durchdringen, ermittelt. Die Flächen werden eingefärbt. Ebenso

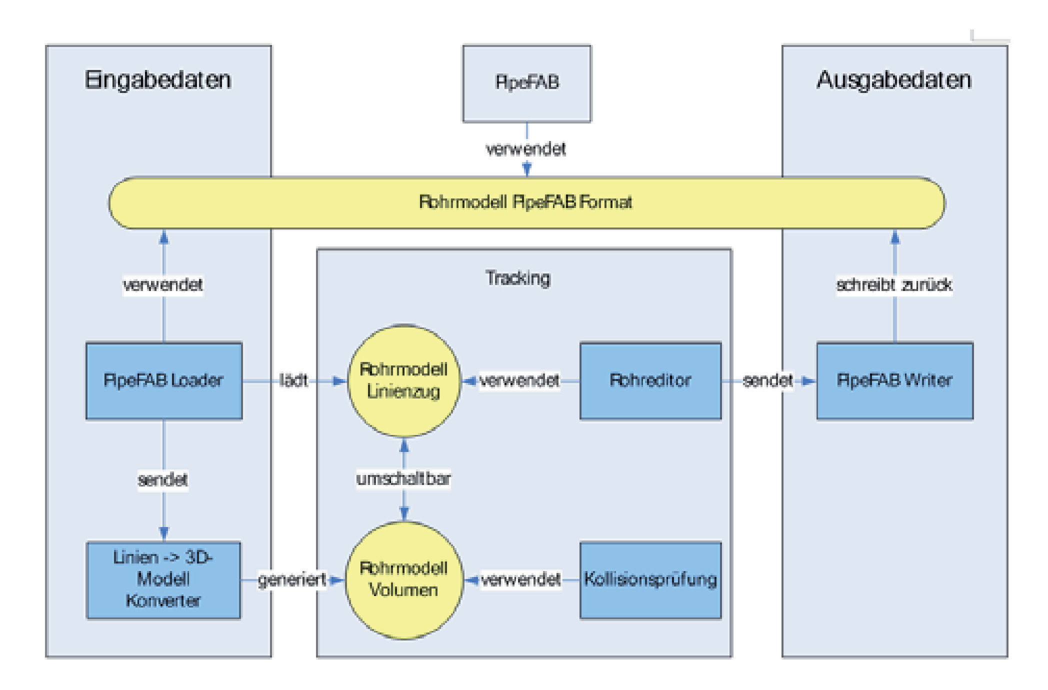
können Kontaktflächen (d.h. Flächen, die sich fast berühren oder bei denen die Durchdringung ein Epsilon unterschreitet) visualisiert werden.

➢ Modellierung des Virtuellen Rohrsystems
Für die Modifizierung des Rohrsystems wird ein Editor entwickelt. In diesem Editor können die Parameter verändert oder ergänzt werden, die im PipeFAB-Format festgehalten werden. Der Editor bietet somit die folgenden Modellierungsmöglichkeiten:

- Selektion eines Flansches
    - Modifikation der Endposition des folgenden Rohrstücks
    - Modifikation der Länge des folgenden Rohrstücks
    - Modifikation der Winkel zwischen vorgehendem und nachfolgendem Rohrstück
    - Modifikation des Rohrdurchmessers des folgenden Rohrstücks
    - Modifikation des Materials des folgenden Rohrstücks
- Einfügen eines neuen Rohrstücks
    - Selektion des Flansches an den das Rohrstück angefügt werden soll
    - Definition der Rohrparameter (Endposition, Länge, Winkel, Rohrdurchmesser etc.)
- Annotierung von Bauteilen
    - Alle Bauteile können selektiert und mit Annotationen bezeichnet werden („Virtuelles Post-IT")

Der Editor wird auf dem mobilen UMPC-aktiviert. Die durchgeführten Modifikationen werden sofort in der AR-Visualisierug berücksichtigt. Mit Hilfe der Kollisionsdetektion werden die veränderten Kollisionsflächen überprüft.

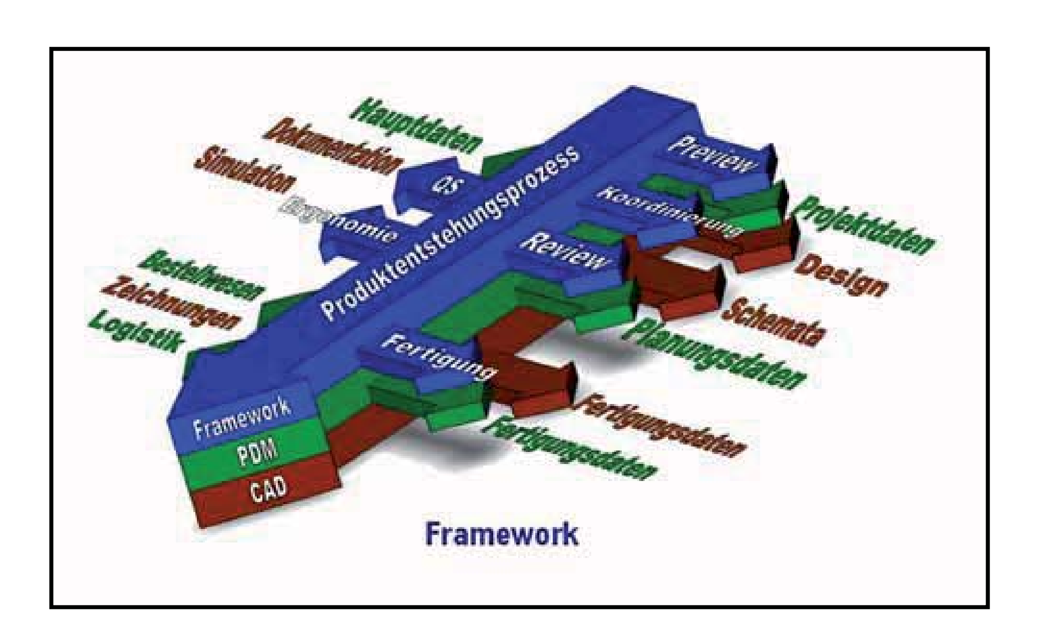
➢ Übertragung des virtuellen Modelldrahtes zur CNC-Biegemaschine
Die Ergebnisse der interaktiven Modellierung werden als PipeFAB-Daten ausgegeben. Dazu wird ein PipeFAB-Writer implementiert. Die Ergebnisdatei kann so von der CNC-Biegemaschine verarbeitet werden. Die beschriebenen Prozesse können im nachfolgenden Diagramm nachvollzogen werden.



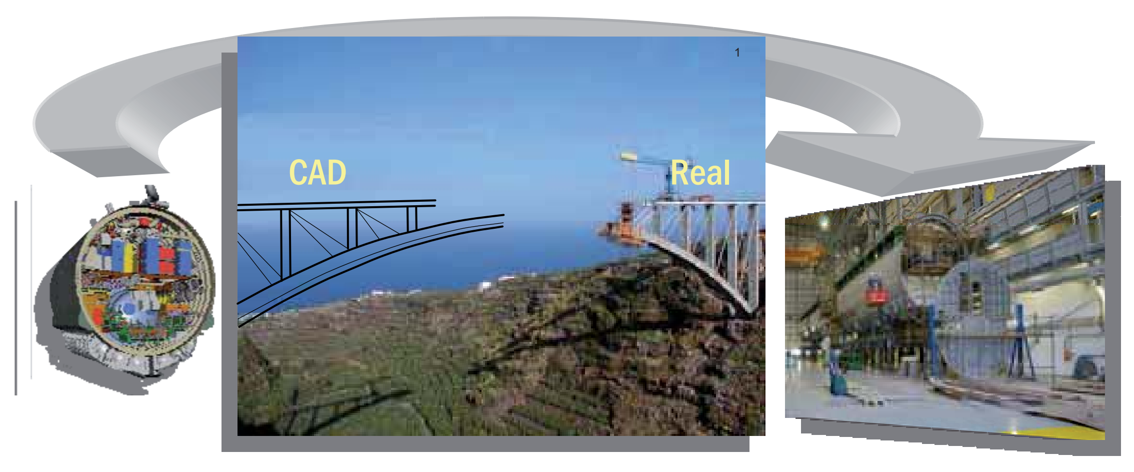
Verarbeitungsprozesse Virtueller Modelldraht

Die Möglichkeiten, die der Einsatz von VR für die Verbesserung des Produktentstehungsprozesses bietet, sind vielfältig und werden in anderen Branchen, wie z.B. dem Automobilbau und der Luftfahrtindustrie, schon in vielen Bereichen eingesetzt. Im Schiffbau wird hingegen zum Teil noch auf physische Mock-Ups gesetzt, was einen erheblichen Aufwand und auch Kosten mit sich bringt. Diese sollen soweit wie möglich durch Untersuchungen in VR ersetzt werden. Zusätzlich führt die Integration von VR-gestützten Untersuchungen zu einer Erhöhung der Planungsgenauigkeit und ermöglicht einfacheres/frühzeitigeres Erkennen von Problemen noch in der Planungsphase. Dadurch werden die Iterationsschleifen optimiert, was eine Verringerung der Durchlaufzeit des gesamten Produktentwicklungsprozesses zur Folge hat. Im Rahmen der Mitarbeit in Forschungsprojekten erarbeitet HDW, durch die Entwicklung und Analyse von Szenarien, die Anforderungen an die Integration von VR in die bestehenden Prozesse. Die so gewonnen Erkenntnisse dienen als Referenzen für die Entwicklung von Konzepten und der Umsetzung der Anbindung von VR. Für eine Prozessintegration VR-gestützter Untersuchungen ist ein einfacher Datenaustausch zwischen VR und PDM-System nötig.

Des Weiteren strebt HDW durch ein neutrales 3D-Austauschformat eine verbesserte Interoperabilität von Zulieferer und Werft an. Der Austausch von 3D-Daten stellt sowohl für den Zulieferer als auch für die Werft einen erheblichen Aufwand dar, da es kein einheitliches, an die Anforderungen des Schiffbaus angepasstes, Datenformat gibt, sondern auf allgemeine neutrale Datenformate (z.B. JT und VRML) zurück gegriffen werden muss. Das Ziel ist es, den Informationsfluss zwischen Zulieferer und Werft zu vereinfachen und zu beschleunigen, was die Durchlaufzeit des gesamten Entwicklungsprozesses verkürzt.



Um das Potential des CAD-Modells weiter auszubauen, besteht die besondere Anforderung das virtuelle Modell in das reale Modell zu überführen und im Produktenstehungsprozess stärker zu nutzen, wie Mixed Reality diese Möglichkeiten bietet.



„Brücken bauen“

virtuelle und reale Welten miteinander verbinden und effektiv nutzen

Autor

Dipl.-Ing. Michael Riedel
Teilprojektleiter Mixed Reality

Howaldtswerke-Deutsche Werft GmbH
Ein Unternehmen der ThyssenKrupp Marine Systems AG
Werftstraße 112-114
24143 Kiel

Telefon: 0431 700 124 196
Telefax: 0431 700 161 24 196
E-Mail: michael.riedel2@thyssenkrupp.com

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Training und Ausbildung

Virtual Reality-Technologien für die Qualifizierung in kleinen und mittelständischen Unternehmen

Dr.-Ing. Hans-Joachim Clobes
Dipl.-Ing. Tina Haase
Dipl.-Päd. Wilhelm Termath

Lebenslauf



Dr. Hans-Joachim Clobes

Geschäftsführer

RKW Sachsen-Anhalt GmbH
Werner-Heisenberg Str. 1
39108 Magdeburg

Telefon: 0391 736 19 0
E-Mail: info@rkw-sachsenanhalt.de

Feb. 1975 - Aug. 1978	Assistent an der TH Magdeburg
Sep. 1978 – Dez. 1982	Aspirantur mit Abschluss Promotion zum Dr.-Ing.
Jan. 1983 – Sep. 1988	Projekt-Ing. in der MAW Stahlgießerei Rothensee
Okt. 1988 – Jan. 1996	Dezernent für Technik und Bau an der Otto von Guericke Universität Magdeburg,
Feb. 1996 – Sep. 2002	stv. Geschäftsführer im IGZ Magdeburg
Okt. 2002 – Dez. 2005	Geschäftsführer bei der H&B OMEGA Europa GmbH Sondermaschinen- und Werkzeugbau.
seit Jan. 2006	Geschäftsführer der RKW Sachsen-Anhalt Rationalisierungs- und Innovationszentrum GmbH

Virtual Reality-Technologien für die Qualifizierung in kleinen und mittelständischen Unternehmen

Dr.-Ing. Hans-Joachim Clobes, Dipl.-Ing. Tina Haase, Dipl.-Päd. Wilhelm Termath

1. Ausgangssituation

Die Wirtschafts- und Beschäftigungssituation in Sachsen-Anhalt ist geprägt durch einen sich abzeichnenden technischen Fachkräftemangel. Indikatoren dafür sind

- die Verlängerung des Zeitraums bei der Belegung freier Stellen bei technischen Berufen im Vergleich zu den Vorjahren
- sowie die steigende Anzahl von technischen Berufen, auf die in Sachsen-Anhalt weniger als drei formal qualifizierte Arbeitssuchende je Stellenangebot kommen.

Von dieser Entwicklung sind insbesondere die Berufsgruppen Maschinenbauingenieure, Schweißfachingenieure, Elektroingenieure, Zerspanungsmechaniker, Schweißer, Mechatroniker und Industriemechaniker betroffen. Bekräftigt wird dies durch die Aussage Schäfers, Arbeitsmarktexperte vom Institut der deutschen Wirtschaft aus Berlin, „…derzeit sucht insbesondere die Metall- und Elektroindustrie händeringend Fachkräfte“ so Schäfer. Dazu gehören der Fahrzeugbau, der Stahlbau, aber auch der Maschinenbau und die Elektrotechnik.

Vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung ist zudem davon auszugehen, dass sich diese Situation in den kommenden Jahren noch verschärfen wird. Um den Folgen des Fachkräftemangels (u.a. Verringerung des Wachstumspotentials, Verschlechterung der technologischen Leistungsfähigkeit) zu begegnen, sind Maßnahmen notwendig, die einen Beitrag zur Deckung des Bedarfs an technischen Fachkräften, insbesondere in den technologieorientierten kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) des Landes Sachsen-Anhalt leisten.

Hinzu kommt, dass die ökonomische Dynamik Sachsen-Anhalts entscheidend von den technologieorientierten Unternehmen bestimmt wird. Die Sicherung des Transfers von Hochtechnologien in die KMU Sachsen-Anhalt ist bereits heute und erst recht in Zukunft der entscheidende Erfolgsfaktor im globalen Wettbewerb, wie Beispielbetrachtungen in allen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes Sachsen-Anhalt eindrucksvoll zeigen. Zwischen der Nutzung von Hochtechnologien und dem mittelbaren ökonomischen Ergebnis eines Betriebes besteht ein enger Zusammenhang; jedoch scheitern diesbezügliche kostenintensive Schritte in KMU Sachsen-Anhalts sehr häufig an fehlenden eigenen Forschung und Entwicklungs-Möglichkeiten, selbst eingestandener Strategieschwäche, mangelnder Koordination und Kooperation.

Die Anwendung von Virtual Reality (VR)-Technologien kann hier einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung und Sicherung von verwertbarer technologischer Kompetenz in mittelständischen Unternehmen Sachsen-Anhalts leisten. Kleine und mittelständische Unternehmen erhalten einen technologischen

Schub, sowie neben der Kompensierung struktureller Benachteiligungen, ihre Wettbewerbsfähigkeit erhöhen und Arbeitsplätze nachhaltig sichern.

2. VR-Technologien in der Qualifizierung

Der Erwerb handlungsorientierter Kompetenzen erfordert die aktive Bewältigung realer Aufgabenstellungen. In diesem Zusammenhang stellt sich jedoch das Problem der Verfügbarkeit von entsprechenden Betriebsmitteln, Maschinen oder Anlagen dar. VR-Technologien ermöglichen die Bearbeitung realer Arbeitsaufgaben durch den Einsatz virtuell-interaktiver Modelle von Maschinen und Anlagen.

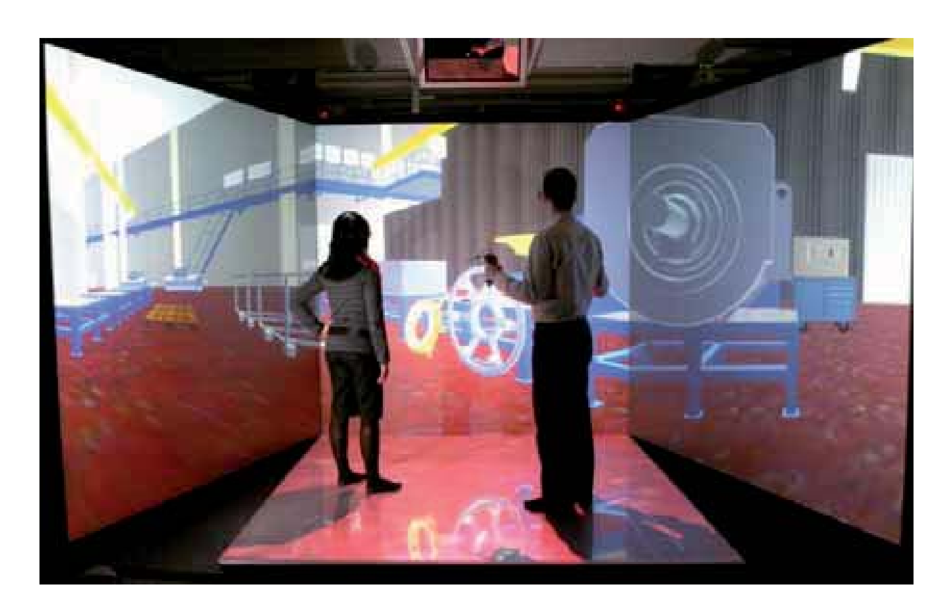


Abbildung 1: Die CAVE als Arbeitsraum (Foto: Fraunhofer IFF, Dirk Mahler)

Mit den Technologien der virtuellen Realität (VR) werden zunächst virtuelle, als Computermodell vorliegende dreidimensionale Objekte dargestellt. Nach der Erstellung der Objektgeometrie wird das Verhalten eines Betriebsmittels, einer Maschine oder Anlage beschrieben und implementiert, sodass mit der Darstellung der Bewegungen von Bauteilen und -gruppen auch die Funktionalitäten erkennbar werden. Die Visualisierung der Umgebung schafft einen realitätsnahen Bezug zur tatsächlichen Arbeitsumgebung. In der didaktischen Ausgestaltung werden u.a. Arbeitsaufgaben und -lösungen beschrieben, das Feedback für den Lerner und die Auswertung des Lernerfolgs festgelegt.

Die Verwendung der VR-Technologie macht es dabei möglich, sämtliche Arbeitsabläufe im kleinsten Detail und als nachvollziehbare Prozedur abzubilden. Die Mitarbeitenden können sich Schritt für Schritt die Details, konstruktiven Zusammenhänge und Funktionalitäten der Bauteile und Baugruppen erschließen. Die Arbeitsschritte werden analysiert, als Lernaufgaben didaktisch aufbereitet und den Lernenden zur Bearbeitung in der virtuellen Szene vorgelegt.

In einem speziellen Lernszenario zur Lernerfolgskontrolle muss er diese mit Hilfe des Programms später allein bewältigen. Zudem erhält er Einblick in die inneren

Strukturen und die funktionalen Zusammenhänge der Lernobjekte. Derartige Inhalte konnten in der Vergangenheit nur sehr abstrakt vermittelt werden. Das beanspruchte erheblich mehr Zeit und garantierte keinen einheitlichen Wissensstand bei allen Beteiligten.

Neben der Möglichkeit, an einem technischen System zu trainieren, das normalerweise in einem Seminar nicht eingesetzt werden kann, ergeben sich durch die Nutzung virtueller Lernszenarien eine ganze Reihe weiterer Vorteile:

Die praktische Ausbildung kann mit einer flexiblen Anzahl der Teilnehmer/-innen weitgehend *zeit- und ortsunabhängig* erfolgen. Sowohl der zeitliche Ablauf der Übungen als auch der Fokus auf einzelne Arbeitsschritte können beliebig variiert werden. Die fehlerhafte Durchführung von Arbeitsaufgaben hat im virtuellen Szenario *keine negativen Folgen* und sämtliche Arbeitsschritte sind zu jedem Zeitpunkt für alle Teilnehmer *transparent*. Zudem hat sich im Informationszeitalter die Anwendung moderner Technologien als zusätzlicher Motivationsfaktor für die Mitarbeitenden bewährt.

Für die systematische Analyse der Potenziale von Technologien der virtuellen Realität für die berufliche Bildung haben Jenewein und Fletcher mit Verweis auf Ansätze von Anderson zur Unterscheidung von deklarativem und prozeduralem Wissen sowie Dörner zur Bestimmung von Realitätsbereichen, die sich Sachverhalts- und Handlungsstrukturen zuordnen lassen, das folgende Strukturmodell vorgelegt.

Realitäts-bereiche	**Reale Arbeitsumgebung (RA)**	**Virtuelle Arbeits-Umgebung (VA)**	**Didaktische Konsequenzen**
Sachverhalte			
Komplexität	Immer 100 % Reduzierung oft unmöglich	Immer < 100 % Reduzierung i. d. R. möglich	Didaktische Reduktion komplexer Umgebungen
Dynamik	Einflussnahme-möglichkeiten stark begrenzt	Prinzipiell unbegrenzte Einflussnahme	Anschaulichkeit durch Zeitraffung und -Streckung
Vernetztheit	Oft unanschaulich und begrenzt beeinflussbar	Vernetzungsgrad beeinflussbar	Gezielte Orientierung an Lernvoraussetzung en
Transparenz	Abhängig von Sichtbarkeit und Zugänglichkeit	Zugänglichkeit und Sichtbarkeit künstlich erweiterbar	Bessere Verständlichkeit und Anschaulichkeit
Lernhandlungen			
Reversibilität	Selten ohne Folgen (Kosten, Zeit, Material) möglich	Immer ohne Folgen möglich	Möglich: Lernen aus Fehlern

Kosten-abhängigkeit	Lernhandlungen verursachen immer Kosten	Geringer Nutzungs-, hoher Entwicklungs-aufwand	Je nach Teilnehmerzahl und Anwendungsfall
Zeitabhängig-keit	Arbeitsprozess und -system z. T. nur begrenzt verfügbar	Prinzipiell unbegrenzte Verfügbarkeit	Individualisierung und Flexibilisierung von Lernzeiten
Orts-abhängigkeit	Gebunden an Arbeitsumgebungen		

Tabelle1: Potentiale der Virtual Reality für die berufliche Bildung

Demnach lassen sich die Vorteile des Lernens mit VR-Technologien zusammenfassen

- Mit der didaktischen Reduktion können komplexe Arbeitssysteme entsprechend den individuellen Voraussetzungen und dem Lern- und Erkenntnisfortschritt schrittweise adaptiert werden.

- Die in sehr kurzen Zeitintervallen technischen Vorgänge können mit dem Instrument der Zeitstreckung anschaulich dargestellt werden, langfristige Veränderungen von Arbeitssystemen können mit dem Zeitraffer von Wochen, Monaten oder Jahren auf wenige Minuten konzentriert werden.

- Die Reversibilität von Lernhandlungen, d.h. insbesondere das Lernen aus Fehlern ist gefahrlos möglich.

- Zur Vorbereitung auf einen konkreten Arbeitsauftrag kann der Lerner individuell, zeit- und ortsunabhängig den entsprechenden Arbeitsprozess im virtuellen System durcharbeiten.

3. Evaluation des Einsatzes von VR-Technologien

Zur Analyse und Bewertung von VR-Technologien in der Qualifizierung hinsichtlich ihres Zielerreichungsgrades (Effektivität) und des Aufwand-Nutzen-Verhältnisses (Effizienz) wurde das Projekt ViReKon (Virtual-Reality-basierte Konzepte) initiiert, in dessen Rahmen Virtual Reality-Technologien in mittelständische Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes Sachsen-Anhalts implementiert werden sollen. Das Projekt wird aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds und des Landes Sachsen-Anhalt gefördert.

Federführende Projektpartner sind:

- TBZ Technologie- und Berufsbildungszentrum Magdeburg gGmbH,
- SLV Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle GmbH,
- RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrum Sachsen-Anhalt sowie
- Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Zu den Zielen des Projektes zählen u.a.:

- Stärkung der technologischen Kompetenz mittelständischer Unternehmen
- Unterstützung der F&E-Prozesse in den Unternehmen
- Know-How-Transfer zur Nutzung von VR-Technologien

In einem ersten Schritt werden Sensibilisierungs- und Schulungsmaßnahmen für Fach- und Führungskräfte von Unternehmen zu VR-Technologien durchgeführt. Im Anschluss daran sollen betriebliche Bedarfe und Voraussetzungen in Unternehmen identifiziert werden. Dies bildet die Grundlage dafür, dass in einem weiteren Schritt VR-Lösungen in unterschiedlichen Bereichen für ausgewählte Unternehmen realisiert werden. Der Transfer entwickelter Standards und Routinen auf konkrete betriebliche Anwendungsfälle bildet den Abschluss des Projektes.

Eine Evaluation wird begleitend durchgeführt mit dem Ziel, nötige Anpassungs- und Umsteuerungsprozesse im Zuge der Durchführung des Projektes zu identifizieren und einzuleiten. Erste Ergebnisse zur Praktikabilität sowie zum Nutzen der VR-Technologie im Rahmen der Qualifizierung werden im 2. Halbjahr 2009 erwartet.

4. Literatur

Blümel, E., Jenewein, K. (2005) Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitsumgebungen: Eckpunkte eines Forschungsprogramms. In: Schenk, M. (Hrsg.): Virtual Reality und Augmented Reality zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme. Magdeburg: IFF, 177-182

5. Autoren

Dr.-Ing. Hans-Joachim Clobes
Geschäftsführer

RKW Sachsen-Anhalt GmbH
Denkfabrik im Wissenschaftshafen
Werner-Heisenberg-Straße 1
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 736 190
Telefax: 0391 736 1933
E-Mail: info@rkw-sachsenanhalt.de

Dipl.-Ing. Tina Haase
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 162
Telefax: 0391 4090 115
E-Mail: tina.haase@iff.fraunhofer.de

Dipl.-Päd. Wilhelm Termath
Leiter Kompetenzzentrum Training und Technologie

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 129
Telefax: 0391 4090 115
E-Mail: wilhelm.termath@iff.fraunhofer.de





Training und Ausbildung

Virtuelle 3-D-Trainingsumgebung zur Ergänzung eines Lehrsystems für optische Übertragungstechnik

Prof. Dr. rer. nat. et Ing. habil. Ulrich Fischer-Hirchert
Dipl.-Wirtsch.-Inf. (FH) Christian Reinboth
Dipl.-Inf. (FH) André Winge
Mathias Ellermann

Lebenslauf



Prof. Dr. rer .nat. et Ing. habil. Ulrich Fischer-Hirchert

CEO

HarzOptics GmbH
Dornbergsweg 2
38855 Wernigerode

Telefon: 03943 935 615
E-Mail: ufischerhirchert@harzoptics.de

Seit 2006	Gründung des An-Instituts HarzOptics GmbH der Hochschule Harz
2005	Habilitation an der TU-Dresden Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik , Prof. Wolter
Seit 2001	Hochschule Harz, Wernigerode Professur für Kommunikationstechnik im Fachbereich Automatisierung und Informatik mit Schwerpunkt der photonischen Kommunikationstechnik. Neuaufbau des Forschungslabors für Photonische Technologien
1988- 2001	Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin GmbH (HHI), Gruppenleiter: optischen Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) mit fünf Vollzeitangestellten und mehreren studentischen Mitarbeitern und Koordination der AVT-Servicearbeiten für das gesamte Institut.
1988	Dissertation an der FU Berlin, Institut für Atom- und Festkörperphysik, Prof. Schwentner
1983	Diplom in Physik an der FU Berlin

Lebenslauf



Dipl.-Inf.(FH) André Winge

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb
und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 782
E-Mail: andre.winge@iff.fraunhofer.de

2003-2006	Studium der Kommunikationsinformatik Hochschule Harz (FH), Wernigerode
seit 2006	Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung Magdeburg Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Virtuelle 3-D-Trainingsumgebung zur Ergänzung eines Lehrsystems für optische Übertragungstechnik

Prof. Dr. rer. nat. et Ing. habil. Ulrich Fischer-Hirchert, Dipl.-Wirtsch.-Inf. (FH) Christian Reinboth, Dipl.-Inf. (FH) André Winge, Mathias Ellermann

1. Das OPTOTEACH Lehr- und Laborsystem

Die Optischen Technologien gehören dem Bundesministerium für Bildung und Forschung zufolge zu den wesentlichen Schlüsseltechnologien für den Wirtschafts- und Forschungsstandort Deutschland [1]. Da der gegenwärtige IT-Markt immer schnellere Datenraten fordert, gewinnen optoelektronische Verfahren wie das Multiplexing zunehmend an Wichtigkeit. Insbesondere das Wellenlängen-multiplex-Verfahren (WDM, engl. für Wavelength Division Multiplex) hat sich im Bereich der Glasfaser-Übertragungssysteme etabliert, und ist auch für Systeme mit Polymerfasern (POF, engl. für Polymer Optical Fibres) von grundsätzlicher Bedeutung [2].

Die Vermittlung von praxisnahen Kenntnissen an POF-WDM-Systemen dürfte daher eine der zu-künftigen Schwerpunktaufgaben von Universitäten und berufsbildenden Einrichtungen werden. Die HarzOptics GmbH[1] – ein An-Institut der Hochschule Harz[2] – hat zur Unterstützung der praxisnahen Laborarbeit das Lehr- und Laborsystem »OPTOTEACH«[3] entwickelt, welches seit 2006 europaweit vertrieben und mittlerweile an etlichen Hochschulen eingesetzt wird.

Das OPTOTEACH-System besteht aus zwei Sendern, einer LED, einem Laser im cw-Betrieb sowie zwei Empfängern und wird in [3] im Detail beschrieben. Es ist darauf ausgerichtet, analoge FBAS-Video- oder Testsignale zu übertragen. Für die Datenübertragung kommen ausschließlich LEDs im sichtbaren Wellenlängenbereich (Rot bei 660nm und Blau bei 490nm) zum Einsatz, da die Nutzung von sichtbarem Licht das visuelle Verstehen des WDM-Effektes erheblich erleichtert. Zwei Signale werden durch einen Koppler der Firma Ratioplast Optotelectronic GmbH[4] zusammengefasst und am Ende der POF-Übertragungsstrecke durch einen Ratioplast-Splitter aufgetrennt. Mittels optionaler Farbfilter lässt sich eine näherungsweise vollständige Signalaufteilung erreichen.

[1] http://www.harzoptics.de
[2] http://www.hs-harz.de
[3] http://harzoptics.de/optoteach.htm
[4] http://www.ratioplast.de

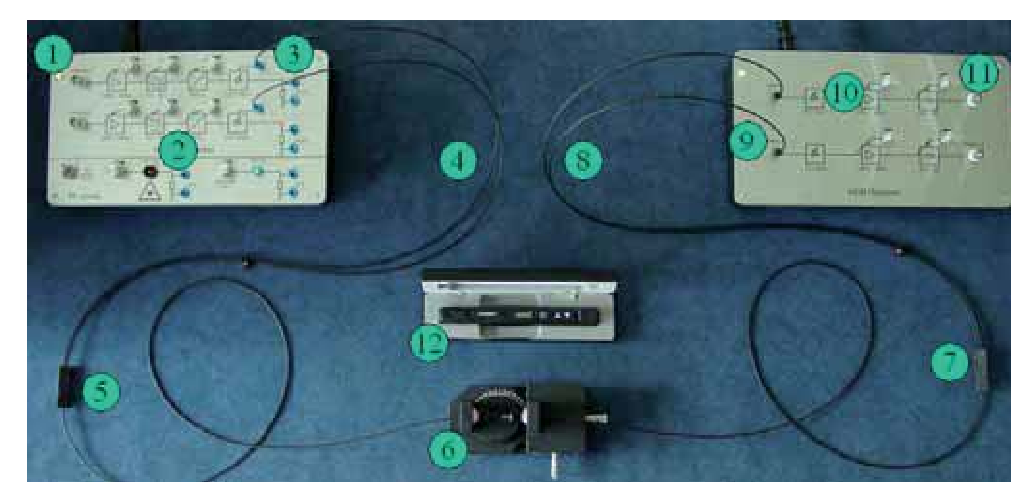


Abbildung 1: OPTOTEACH-Lehrsystem: (1) BNC-Eingänge, (2) Einstellregler für Offset & Verstärkung, (3) Optische Ausgänge, (4) Polymerfaser (5) Koppler, (6) µm-Tisch, (7) Splitter, (8) Polymerfaser, (9) Optische Eingänge, (10) Einstellregler für Spannung & Verstärkung, (11) BNC-Ausgänge, (12) Optisches Powermeter.

Die Treiberschaltung des Systems wurde auf die Übertragung von Videosignalen optimiert, wobei das Eingangssignal von einer Videokamera eingespeist oder durch einen Testbildgenerator erzeugt werden kann. Das System ermöglicht darüber hinaus die Übertragung weiterer Signaltypen, wie beispielsweise eines per Funktionsgenerator erzeugten Sinussignals, welches auf einem Oszilloskop dargestellt werden kann. Ein solches Setting erlaubt die Untersuchung des Einflusses der Faserlänge auf das Signal-Rausch-Verhältnis, eines der vielen mit OPTOTEACH möglichen Experimente.

Weitere mit OPTOTEACH durchführbare Versuche sind [3]:

– Bestimmung des Einflusses elektromagnetischer Felder
– Bestimmung der PI-Kurven verschiedener Sendeelemente
– Bestimmung von Übertragungsbandbreite und S-Parameter
– Bestimmung der Modulationscharakteristik (AM, ASK, PCM)
– Messung der Dämpfung bei unterschiedlichen Faser- und Wellenlängen
– Analyse des Einflusses von Fehlausrichtungen und Stoßstellen (µm-Tisch)
– Analyse des Einflusses von Offset sowie sender-/empfängerseitiger Verstärkung

2. Konzeption einer Lernsoftware

Eines der didaktischen Probleme technisch orientierter Studiengänge ist die oft klare Trennung von theoretischer und praktischer Wissensvermittlung. Während die Theorie in den Vorlesungen gelehrt wird, erfolgt die praktische Ausbildung in Laborveranstaltungen und unter Einsatz von Lehrsystemen wie OPTOTEACH. Laboraufsichten bzw. Lehrende werden dabei mit dem Problem konfrontiert, sich an die unterschiedlichen Fortschritte der Laboranten bzw. einzelner Gruppen anpassen zu müssen. Wie in [4] festgestellt wird, ist es während der Versuche häufig erforderlich, theoretische Inhalte wiederholend aufzugreifen oder individuelle Hilfestellung zu leisten, womit das Wunschbild einer hohen Autonomie der Lernenden verfehlt wird. Bereits kurz nach der Markteinführung von OPTOTEACH wurde daher seitens einiger Anwender der Wunsch nach einer Lernsoftware geäußert. Diese sollte idealerweise sowohl das für das Verständnis der Versuche benötigte Hintergrundwissen zur Verfügung stellen, als auch die Versuche schrittweise begleiten bzw. die Studenten bei der Vorbereitung von Versuchen außerhalb des Labors unterstützen.

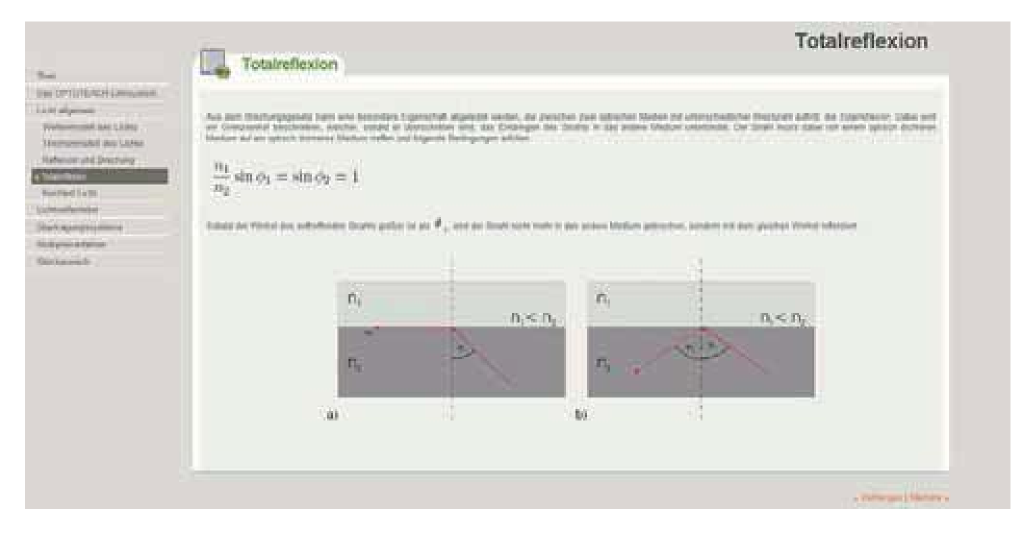


Abbildung 2: Screenshot der aktuellen OPTOSOFT-Version 2.0

Mit der Erarbeitung der HTML-basierten Lernsoftware OPTOSOFT wurde 2007 ein erster Schritt in diese Richtung unternommen. Die Software ermöglicht es den Laboranten, versuchsrelevantes Fachwissen vor und auch während der Laborarbeit abzurufen und zu rekapitulieren, wobei kleinere Multiple-Choice-Tests und Lückentexte den Lernprozess multimedial unterstützen.

Die Möglichkeiten »konventioneller Lernsoftware«, die Versuche anschaulich darzustellen und den Laboranten sowohl den Ablauf visuell näherzubringen als auch ihnen eine einfache Möglichkeit zu eröffnen, erzielte Messergebnisse zeitnah auf ihre Richtigkeit zu kontrollieren, erwiesen sich jedoch als begrenzt. Aus diesem Grund wurde 2008 das Projekt »Virtual OPTOTEACH« gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) ins Leben gerufen. Ziel des Projektes ist die Erstellung einer dreidimensionalen, physikalisch korrekten Simulation des OPTOTEACH-Lehrsystems, welche eine umfassende Versuchsvorbereitung ermöglicht.

3. »Virtual OPTOTEACH«

Die Grundlage für den Einsatz eines dreidimensionalen, interaktiven Lehrsystems, mit dem eine Versuchsvorbereitung und -durchführung virtuell durchgeführt werden kann, sind realitätsnahe 3-D-Modelle des OPTOTEACH-Lehrsystems. Zum Vergleich mit den originalen Geräten des OPTOTEACH-Systems (siehe Abbildung 1) zeigt die Abbildung 3 die Transmittereinheit (a), die Empfängereinheit (b), den µm-Tisch (c), POF-Kabel (d) sowie Koppler (e), Splitter (f) und das optische Powermeter des virtuellen Lehrsystems in der »Virtual Development and Training Plattform« (VDT-Plattform) des Fraunhofer IFF.

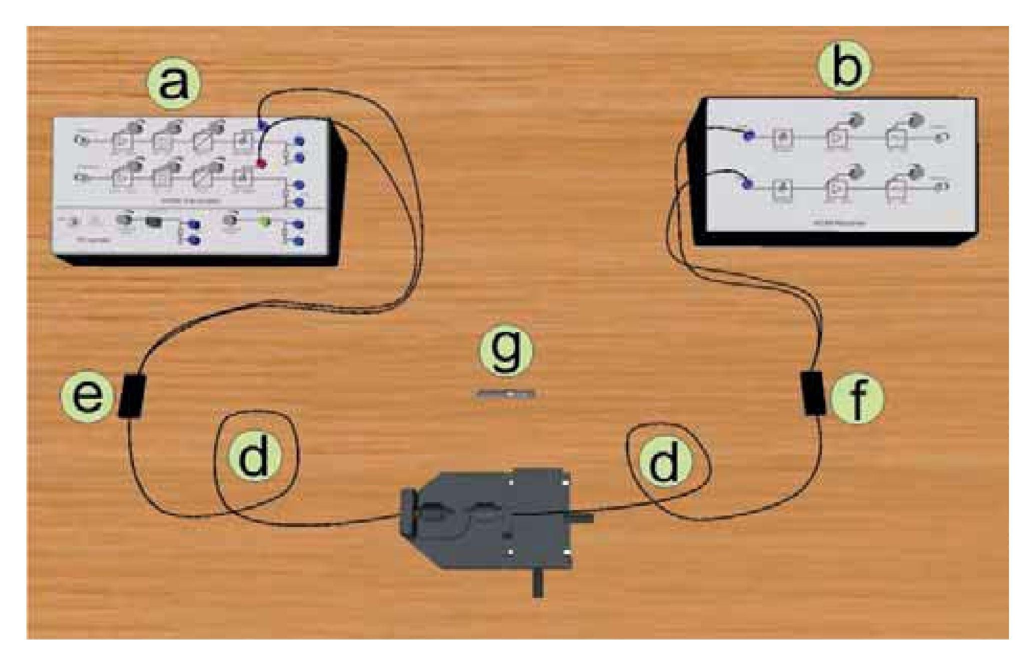


Abbildung 3: Screenshot des »Virtual OPTOTEACH« Systems in der VDT-Plattform

Neben der Vorstellung der Geräte, enthält das virtuelle Lehrsystem eine Auswahl von Laborversuchen, die interaktiv durchgeführt werden können. Das Trainingskonzept der VDT-Plattform stützt sich auf drei unterschiedliche Modi. Im sog. Präsentationsmodus werden dem Nutzer die notwendigen Geräte vorgestellt und der durchzuführende Versuch vorgeführt. Im geführten Modus muss der Anwender den Versuch interaktiv durchführen, er erhält jedoch Anweisungen vom System. Im freien Modus ist er auf sich gestellt und muss den Laborversuch ohne Hilfestellung durchführen.

Um die korrekte physikalische Simulation der Laborversuche sicherzustellen wird ein physikalisches, formales Modell der dargestellten Laborgeräte in die Software integriert. Jedes Gerät im virtuellen Lehrsystem verändert oder benutzt auf eine bestimmte Weise, ein vom Transmitter ausgehendes Grundsignal. Dieses Verhalten lässt sich durch ein formales Modell beschreiben. Um eine einfache Parametrisierung der abgebildeten Geräte zu gewährleisten, erfolgt die Zuweisung der notwendigen Parameter zu einem Gerät im virtuellen OPTOTEACH-System durch Konfigurationsdateien im XML-Format.

Ein Laborversuch des realen OPTOTEACH-Lehrsystems besteht beispielsweise darin, das Dämpfungsverhalten der einzelnen Komponenten zu ermitteln. Dabei soll einerseits die Abhängigkeit der Dämpfung von der Leitungslänge, andererseits aber auch die Abhängigkeit von der verwendeten Wellenlänge berücksichtigt werden. Ein POF-Kabel schwächt, in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes, welches durch es transportiert wird, eben dieses Licht ab. Um das Dämpfungsverhalten eines POF-Kabels im virtuellen OPTOTEACH-System zu emulieren, wird dem Kabel mithilfe der Konfigurationsdatei, u. a. die für PMMA-Kabel[5] typische Dämpfungskurve (vgl. Abbildung 4) zugewiesen.

[5] PMMA: Polymethylmethacrylat

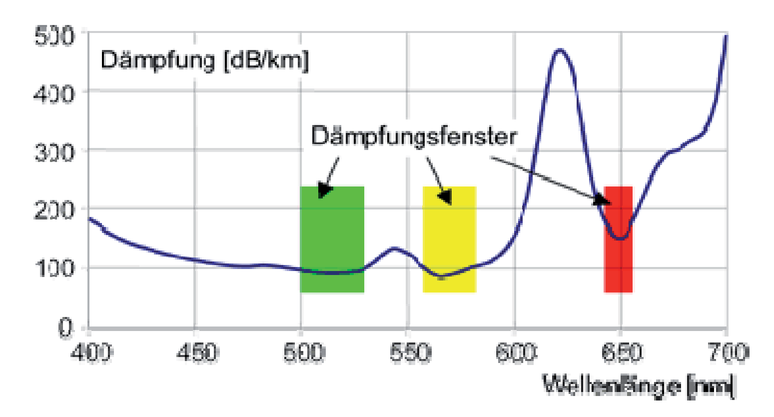


Abbildung 4: Dämpfung von POF bei unterschiedlichen Wellenlängen des Lichts; Quelle:[5]

Für die Ermittlung der Dämpfung in Abhängigkeit der Wellenlänge und der Leitungslänge sind im System zunächst Wertepaare von Stützstellen der betroffenen Dämpfungsfenster hinterlegt, die als Parameter in der Berechnung genutzt werden. Diese Art der Implementierung war notwendig, da die Herleitung des formalen Modells der kompletten Dämpfungsfunktion über »Curve Fitting[6]« keine akzeptablen Ergebnisse lieferte. Es ist geplant, die Wertepaare durch eine Funktion zu ersetzen. Dabei wird nicht die gesamte Dämpfungsfunktion betrachtet, sondern durch Approximation versucht, eine Funktion für die einzelnen Wellenlängenbereiche herzuleiten und im System zu hinterlegen.
Des Weiteren enthält das virtuelle OPTOTEACH-System u. a. 3-D-Modelle eines optischen Spektrometers sowie eines Oszilloskops. Um auf diesen Geräten zur Laufzeit und in Abhängigkeit der Interaktionen des Anwenders eine realistische Ausgabe zu ermöglichen, wurde zur Darstellung der Funktionsgraphen ein Funktionsplotter aus dem »ROOT[7]« Paket des CERN[8] in Genf implementiert.

Ein virtuell durchgeführter Laborversuch erfolgt folgendermaßen: Der Nutzer positioniert die zum Versuch benötigten Geräte auf dem Labortisch und verbindet diese durch POF-Kabel an den jeweiligen Aus- und Eingängen. Durch die Betätigung der Einstellregler am Transmitter erfolgt die Generierung des Ausgangssignales. Auf dieses Signal werden die Funktionen der angeschlossenen Geräte angewandt. Die Ausgabe am optischen Spektrometer bzw. am Oszilloskop erfolgt durch die Zuweisung des berechneten Funktionsgraphen als Textur auf das jeweilige 3-D-Objekt. Dadurch ist es möglich, das Verhalten des realen OPTOTEACH-Systems in der virtuellen Welt relativ realitätsnah nachzubilden.

4. Literatur

[1] o.V.: Optische Technologien – made in Germany. Rahmenprogramm des BMBF für die Förderung der optischen Forschung, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin, 2005.

[2] Fischer, U.H.P.: Optoelectronic Packaging, VDE-Verlag, Berlin, 2002.

[6] Kurveninterpolation bzw. Kurvenapproximation
[7] http://root.cern.ch/drupal/
[8] französisch: Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire

[3] U.H.P. Fischer, J. Just & C. Reinboth: Konzeption eines optischen Übertragungssystems mit Wellenlängenmultiplex-Technologie und polymeren Lichtwellenleitern als Lehr- und Laborsystem, in: E. Griese: (Hrsg.): Tagungsband zum 9. Workshop Optik in der Rechentechnik, S. 110-117, Siegen, 2006, ISSN: 1437-8507.

[4] U.H.P. Fischer, J. Just & C. Reinboth: Applying the Principles of Augmented Learning to Photonics Laboratory Work, Paper zur ETOP 2007, Montreal, 2007.

[5] Prinzip der POF, POF Application Center Nürnberg, Stand: 25.03.2008, http://www.pofac.de/pofac/de/was_sind_pof/stufenindex.php

5. Autoren

Prof. Dr. rer. nat. et Ing. habil. Ulrich H. P. Fischer-Hirchert
Geschäftsführer

HarzOptics GmbH
Dornbergsweg 2
38855 Wernigerode

Telefon: 03943 935 615
Telefax: 03221 236 4868
E-Mail: ufischerhirchert@harzoptics.de

Dipl.-Wirtsch.-Inf. (FH) Christian Reinboth
Softwareentwicklung, PR

HarzOptics GmbH
Dornbergsweg 2
38855 Wernigerode

Telefon: 03943 935 615
Telefax: 03221 236 4868
E-Mail: creinboth@harzoptics.de

Dipl.-Inf.(FH) André Winge
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 782
Telefax: 0391 4090 115
E-Mail: andre.winge@iff.fraunhofer.de

Mathias Ellermann
Studentischer Hilfswissenschaftler

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Regionales Kompetenzzentrum Harz
Virtual Engineering für Produkte und Prozesse
Dornbergsweg 2
38855 Wernigerode

Telefon: 03943 935 685
Telefax: 03943 935 687
E-Mail: mathias.ellermann@iff.fraunhofer.de

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Training und Ausbildung

Ein hybrider Ansatz für die interdisziplinäre Aus- und Weiterbildung auf Basis eines 3-D-Echtzeitsimulationssystems

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Roßmann
Dr. Ulrich Karras
Dipl.-Inform. Oliver Stern

Lebenslauf



Dipl.-Inform. Oliver Stern

Abteilungsleiter Robotertechnik

Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten
Fertigung (RIF) e.V.
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 20
44227 Dortmund

Telefon: 0231 9700 782
E-Mail: stern@rif.fuedo.de

1.2.1990	Softwareentwickler bei der Hommelwerke GmbH in VS-Mühlhausen Tätigkeitsschwerpunkt: Erstellung von Software zur Messdatenauswertung
1.10.1990	Studium der Informatik an der TU Karlsruhe und der ENSAIS (École Nationale Supérieure des Arts et Industries) in Strasbourg (Frankreich) Studienschwerpunkte: Automatisierungstechnik, Fertigungssysteme und Robotik, Telematik, Wissensrepräsentationssysteme
1.5.1996	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Roboterforschung (IRF) in Dortmund Tätigkeitsschwerpunkte: Entwicklung von Softwarewerkzeugen für die Digitale Fabrik, Automatisierungsprojekte für die Fertigungs- und Prozessindustrie
1.1.2005	Projektleiter für Steuerungstechnik bei der Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e.V. Tätigkeitsschwerpunkte: Forschung und Entwicklung für überlagerte Steuerungs- und Visualisierungssysteme, Produktmanagement
1.4.2006	Leiter der Abteilung Robotertechnik bei der Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e.V. Tätigkeitsschwerpunkte: Koordination von Forschung und Entwicklung im Bereich Digitale Fabrik, Integration von Steuerungs- und Robotersimulationssystemen, Virtuelle Realität

Ein hybrider Ansatz für die interdisziplinäre Aus- und Weiterbildung auf Basis eines 3-D-Echtzeitsimulations-systems

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Roßmann, Dr. Ulrich Karras, Dipl.-Inform. Oliver Stern

1. Einleitung

Im Gegensatz zum Ausbildungsbereich sind Simulationssysteme in der industriellen Praxis heute in großen Unternehmen Stand der Technik. Die Möglichkeiten solcher Softwarepakete zum realitätsnahen virtuellen Umgang mit komplexen mechatronischen Systemen sollen nun verstärkt auch für einen kosten-günstigen und motivierenden Einstieg in die Automatisierungstechnik genutzt werden.

Der Einsatz der 3-D Simulation in der Ausbildung bietet dabei nicht nur eine hervorragende Unterstützung von Lernprozessen, sondern konfrontiert den Schüler auch mit einem Werkzeug, das speziell im Umfeld der Automobilindustrie längst zum Standard herangereift ist. Zur Vorbereitung der Inbetriebnahme oder der Programmierung einer Fertigungsanlage ist aus terminlichen Gründen meistens die reale Anlage noch nicht verfügbar. Daher wird ein virtuelles Modell programmiert und die Inbetriebnahme an dieser virtuellen Anlage simulativ durchgeführt. Die Umsetzung auf die reale Anlage kann dann in einer deutlich kürzeren Zeit erfolgen, so dass oft allein schon diese Zeitersparnis die Zusatz-kosten für die virtuelle Anlage übertrifft. Ähnliche Zeit- und Kostenersparnisse lassen sich auch im Ausbildungsbereich erzielen, wenn Methoden der virtuellen Produktion eingesetzt werden.

2. Grundkonzept

Wer sich mit Lehrplänen von Teildisziplinen der Fertigungstechnik befasst, erkennt schnell, dass die zu bearbeitenden Projekte und Aufgaben idealer Weise an mechatronischen Systemen im Sinne komplexer Anlagen aufzubereiten sind. Die Firma FESTO Didactic GmbH & Co. KG hat schon vor einigen Jahren mit dem Ansatz der modularen Produktionssysteme ein Ausbildungskonzept geschaffen, das diese Ansprüche hardwareseitig bereits erfüllt. Es enthält viele moderne mechatronische Subsysteme wie z.B. Roboter und SPSen und bildet zahlreiche Funktionen nach, die sich in modernen Fertigungs-, Montage oder Verpackungs-linien finden lassen. Die Hardware dieses Systems besteht aus Industrie-komponenten und bietet damit optimale Voraussetzungen für den Transfer in die berufliche Praxis.

Zur Vermittlung der Lerninhalte kann ein Ausbilder heute unter zahlreichen Methoden wählen - vom konservativen Frontalunterricht bis hin zum multimedialen E-Learning. Die praxisnahe Anwendung dieses theoretischen Wissens ist im Rahmen der Ausbildung jedoch oft nur schwierig umzusetzen. Hier ist die These „Learning by Doing" unstrittig dahingehend, dass die Tätigkeit am industrienahen Ausbildungssystem ein Muss ist, um im doppelten Sinne Technik zu begreifen. Es ist jedoch unrealistisch anzunehmen, dass jedem Schüler die geeignete Hardware im notwendigen Umfang zur Verfügung gestellt werden kann, da die Kosten hierfür viel zu hoch sind. Um diese didaktische Lücke zu schließen, wurde ein 3-D Echtzeitsimulationssystem so erweitert, dass ein realistischer Umgang mit allen ausbildungsrelevanten mechatronischen Systemen in Form virtueller Modelle gewährleistet werden kann. Anschließend wurden für alle verfügbaren realen

Ausbildungsanlagen Simulationsmodelle erstellt, die sich in den wesentlichen Eigenschaften und im Verhalten mit der realen Hardware decken.



Abbildung 1: Reales und virtuelles Trainingsszenario.

In Abbildung 1 ist links eine reale und rechts die zugehörige virtuelle Arbeitsumgebung für ein Robotik/Mechatronik-Beispiel dargestellt. Der Lernende trainiert mit dem virtuellen Modell, das sich in Funktion und Verhalten von der realen Anlage kaum unterscheidet, so dass die anhand der Simulation erarbeiteten Kenntnisse direkt in die Praxis umgesetzt werden können. Wesentlich hierbei ist, dass die korrekten mechanischen, elektrischen und steuerungstechnischen Details der Anlage in Echtzeit simuliert werden, und sowohl Schüler als auch Lehrer während der laufenden Simulation mit der Anlage interagieren können.

Ein auch unter Kostenaspekten wichtiger Gesichtspunkt dieses Konzepts ist die Möglichkeit, ausgewählte Teile einer realen Arbeitsumgebung durch ein virtuelles Abbild ersetzen zu können (Hardware-in-the-Loop). Dies ermöglicht außerdem, benutzerspezifische Trainingsszenarien zu gestalten, für die eine reale Arbeitsumgebung gar nicht oder nur in Teilen verfügbar ist.

3. Eigenschaften der virtuellen Lernumgebung

Das Konzept basiert auf einem industriellen 3-D Simulationssystem für die Digitale Fabrik. Dadurch können nicht nur Robotersysteme, Sensoren und technische Prozesse simuliert werden, sondern vollständige komplexe Fertigungslinien, die sonst für die Ausbildung nicht zur Verfügung stehen. Eine so leistungsfähige Basis ist notwendig, um die Lerninhalte realitätsgetreu vermitteln zu können, d.h.

– Komponenten (z.B. Magazinschieber, Schwenkarm, Drehtisch, Bandsystem, Handlingsystem, Roboter) und ihre reale Funktionalität zu begreifen,
– Verdrahtungen mit Aktoren und Sensoren durchzuführen,
– Komponenten zu bewegen oder einzelne Prozessschritte auszuführen und
– SPS- oder Roboterprogramme zu erstellen und im Ablaufverhalten zu testen (z.B. korrektes funktionales Verhalten, korrekte Interaktionen mit Sensoren, Kollisionsprüfung).

Das Ziel der virtuellen Lernumgebung ist es, nicht nur eine Animation von Prozessvorgängen zu zeigen, sondern die reale Hardwareumgebung im fast wörtlichen Sinn begreifbar zu machen. Dies erfordert eine sehr realistische und detailgetreue 3-D Darstellung und Simulation, um ein effizientes „Learning by Doing“–Szenario für den Schüler zu ermöglichen. Der Auszubildende kann sich damit individuell so vorbereiten, dass die Umsetzung an der realen Hardwareumgebung lediglich die Form eines Abschlusstests hat. Um diesem Anspruch gerecht werden zu können, wurden in das Basissimulationssystem unter anderem die folgenden Module integriert:

– Mehrrobotersimulation mit den originalen Roboterprogrammen
– SPS-Simulation mit den originalen STEP7 Steuerungsprogrammen
– Transportsimulation (Transfersysteme, Magazine usw.)
– Sensor- und Aktorsimulation
– Ankopplung realer Steuerungen über verschiedene Schnittstellen (z.B. OPC)
– Betrieb der simulierten Anlage mit dem originalen HMI-System

3.1. Störungssimulation

Zur Wartung und Überwachung eines mechatronischen Systems ist eine praxisorientierte Fehlersuche und Fehlerbehebung unbedingt erforderlich. Zu diesem Zweck wurde die Simulationssoftware so erweitert, dass der Ausbilder umfassende Möglichkeiten erhält, Fehlerszenarien zu definieren und zufällig zur Bearbeitung durch die Schüler einzuspielen. Die Maßnahmen zur Fehleridentifikation können anschließend vom Ausbilder ausgewertet werden, so dass gleichzeitig auch eine Bewertung der erreichten Lernfortschritte unterstützt wird. An ausgewählten Beispielen kann dann gezielt eine Fehlersuche und praktische Fehlerbehebung erfolgreich an der Hardwareanlage erfolgen.

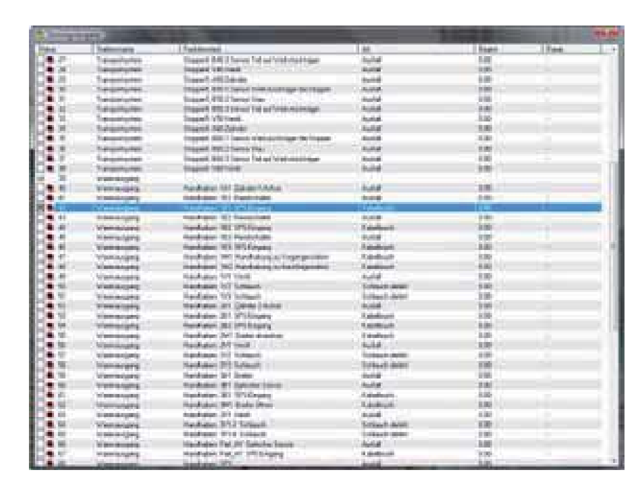


Abbildung 2: Vorgabe von Störungen durch den Trainer.

Abbildung 2 zeigt, wie der Trainer in der Lage ist, Störungen im Anlagenbetrieb oder während der Inbetriebnahme – wie z.B. fehlerhafte elektrische Verbindungen oder Ausfall von Sensoren – zur Simulationszeit in die Lernszenarien einzuspeisen, um sie anschließenden vom Lernenden analysieren und beheben zu lassen. Diese in der beruflichen Praxis häufig benötigten Fähigkeiten lassen sich in klassischen Lernumgebungen in der Regel nur sehr schwer trainieren, da eine Rückkehr zum fehlerfreien Anlagenzustand mit erheblichem Aufwand und oft auch mit hohen Kosten verbunden ist.

4. Lernszenarien

Im Rahmen der Umsetzung des oben beschriebenen Konzepts wurde der interdisziplinärer Baukasten "CIROS Automation Suite" mit Lernszenarien entwickelt, die jeweils aus einem Simulationsmodell sowie einer oder mehreren Hardwarekomponenten bestehen und didaktisch aufeinander aufbauen. Abbildung 3 zeigt, wie die unterschiedlichen Ausbildungsdisziplinen für das gesamte Komplexitätsspektrum damit unterstützt werden können. Auf diese Weise kann jeder Ausbilder aus der zur Verfügung stehenden Bandbreite die für seine Zielgruppe passenden Inhalte auswählen und frei miteinander kombinieren. Zusätzlich

wurden Modellierungswerkzeuge integriert, die es dem Anwender erlauben, beliebige eigene Lernumgebungen zu erstellen.

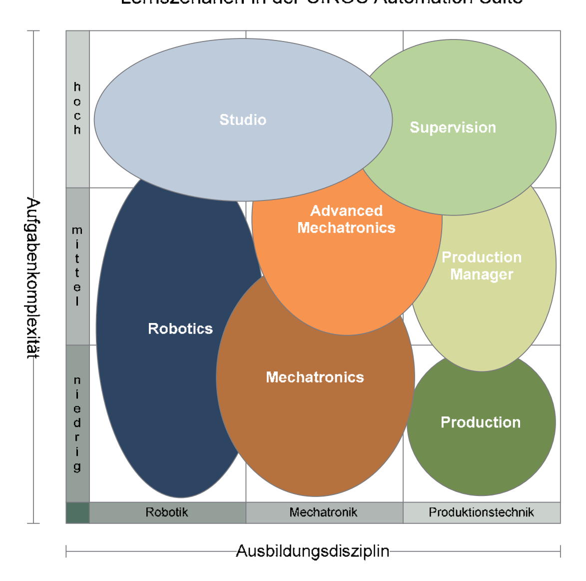


Abbildung 3: Abdeckung von Lerninhalten.

Der Automation Suite liegt ein Konzept der offenen Lernumgebung zugrunde, also ein durch Konstruktivismus geprägter freier Lernansatz. Das heißt, verschiedene Arbeitsmittel wie Grundlagenwissen, Lexikon, Simulationen und reale Hardware sind verfügbar, wobei diese Mittel frei zusammenstellt und einsetzt werden können. Diese offene Struktur wurde auch bei der Gestaltung des Grundlagenwissens umgesetzt, welches aus einem interaktiven, multimedialen Wissensinformations-system besteht. Der Inhalt ist dabei in einzelnen Informationseinheiten aufbereitet, die aus Texten (Konzepte, Erklärungen, Vorschriften, Beispiele usw.), Grafiken, Videos und Animationen bestehen, die alle miteinander durch Hyperlinks vernetzt sind.

4.1. Robotik

Für die Robotik-Ausbildung wurden industrielle Anwendungsszenarien analysiert und in Form von Arbeitszellen für verschiedene Anwendungsbereiche (wie z.B. Handhabung, Palettieren, Montage, Werkstückbearbeitung, Schweißen usw.) didaktisch aufbereitet. In immer komplexer gestalteten Arbeitsumgebungen sollen damit die folgenden Fertigkeiten vermittelt werden:

– Verständnis des Aufbaus von Robotern und ihrer Kinematik
– Programmierung von robotergestützten Prozessen
– Kommunikation zwischen Robotern und peripheren Feldgeräten
– Optimierung von Zykluszeiten

4.2. Mechatronik

Die industrielle Entwicklung der letzten Jahre ist unter anderem bestimmt durch einen immer höheren Grad an Automatisierung, immer komplexere Arbeits-prozesse und schnellere Arbeitsabläufe. Dazu gehören hohe Maschinen-wirkungsgrade ebenso wie die Verringerung von Stillstandzeiten, die Optimierung von Anlagen und kontinuierliche Verbesserungsprozesse. Damit kommen auf alle diejenigen, die im direkten Kontakt zu einer Anlage stehen, zum Teil völlig neue

Anforderungen zu. Der Bediener übernimmt kleinere Wartungsarbeiten und eventuell Reparaturen, ebenso der Einrichter. Der mechanische Instandhalter muss in der Lage sein, elektrische und elektronische Steuerungstechnik so weit zu verstehen, dass er Rückschlüsse auf Mechanik, Pneumatik und Hydraulik ziehen kann. Umgekehrt benötigt der Elektriker Kenntnisse über pneumatische und hydraulische Aktorik.

Ein wesentliches Ziel war es deshalb, ein Werkzeug zu schaffen, mit dessen Hilfe Kenntnisse und Fähigkeiten in den Bereichen Technologie sowie Anlagenwissen und Systemverständnis erworben und vertieft werden können. Für den Bereich Mechatronik wurden Prozessmodelle zu unterschiedlich komplexen Anlagen aus dem Produktionsbereich erstellt. Damit sollen folgende grundlegende Fähigkeiten und das zugehörige methodische Vorgehen trainiert werden:

- SPS-gesteuerte Anlagen in ihrer Funktionsweise und Systemstruktur zu analysieren und zu verstehen,
- SPS-Programme für immer komplexer werdende Anlagen zu erstellen und zu testen,
- verteilte Anlagen zu bedienen, zu beobachten und zu vernetzten und
- systematische Fehlersuche als Teil von Instandhaltung und Wartung an Anlagen durchzuführen.

4.3. Produktionstechnik

Hier können komplette Produktionslinien mit vorgefertigten Automatisierungszellen wie z.B. zur Montage, CNC-Bearbeitung, Lagerung oder Qualitätsprüfung individuell zusammengestellt und mit Materialflusssystemen verbunden werden. Die Aufgabenstellungen orientieren sich an betrieblichen Handlungsabläufen und zielen auf eine Ganzheitlichkeit des Lernprozesses, um Methodenkompetenz und Handlungskompetenz zu trainieren. Damit sollen Lerninhalte aus den folgenden Bereichen bearbeitet und vermittelt werden:

- Aufbau und Funktionsweise von Produktionslinien
- Struktur und Funktionsweise von flexiblen Fertigungssteuerungen
- Definition von Abläufen für die Steuerung der Produktionslinie
- Programmierung von Fertigungssteuerungen mittels Prozessplänen
- Struktur und Funktionsweise von flexiblen Fertigungssteuerungen
- Produktionsdatenbanken als Teil einer computergestützten Fertigung
- Grundfunktionen eines Produktionsplanungssystems

Die simulierte Fertigung der aufgebauten Produktionslinien verhält sich wie die reale Fertigung der Produktionslinie. Damit wird für den Anwender sofort sichtbar, ob er die Produktionslinie korrekt konfiguriert und programmiert hat. Auch die Wirkung von Fehlbedienungen ist sichtbar, ohne dass Schaden an der Produktionslinie entsteht. So kann der Anwender selbständig Rückschlüsse ziehen und auswerten sowie seine Kenntnisse und Fähigkeiten an einer Vielzahl von möglichen Produktionslinien trainieren.

5. Vorteile des Konzepts

Ein wesentlicher Vorteil des hier vorgestellten Ansatzes neben der Kostenersparnis ist, dass die Schüler gut vorbereitet an der wenigen vorhandenen Hardware erscheinen und diese so effizient nutzen können. Sie sind nicht nur theoretisch, sondern auch handlungsorientiert mit dem System vertraut. Sie können sich so auf die zentralen Dinge konzentrieren, die reale und virtuelle Welt trotz aller Detailtreue noch voneinander trennen, z.B.:

– Wie lässt sich ein Sensor mit entsprechenden Werkzeugen einstellen?
– Welche Sicherheitsmaßnahmen ist bei der mechanischen Verdrahtung zu beachten?
– Wie lässt sich ein Roboter mit dem originalen Handbediengerät bewegen?

Damit reduziert sich der notwendige Zeitaufwand für den ersten Lernschritt an der Hardware ganz erheblich. Die Folge ist, dass trotz aller Zeitengpässe ein Ablauf organisiert werden kann, bei dem jeder Schüler die Hardwarespezifika vollständig begreift.

6. Zusammenfassung

Es wurde ein Konzept vorgestellt, welches die durchgängige Nutzung des virtuellen Lernens in der interdisziplinären beruflichen und universitären Aus- und Weiterbildung in den Bereichen Produktionstechnik, Maschinenbau, Mechatronik und Robotik gestattet. Dabei wird sichergestellt, dass die virtuell erworbenen Kenntnisse auch anhand realer Arbeitsumgebungen verifiziert werden können. Dieser hybride Ansatz gestattet es, große Synergieeffekte aus klassischem und virtuellem Training zu erzielen. Die softwaretechnische Basis für diese Vorgehensweise bildet die 3-D Echtzeitsimulationsplattform CIROS.

7. Literatur

Roßmann, J., Stern, O., Wischnewski, R., 2007, Eine Systematik mit einem darauf abgestimmten Softwarewerkzeug zur durchgängigen Virtuellen Inbetriebnahme von Fertigungsanlagen - Von der Planung über die Simulation zum Betrieb, atp Automatisierungstechnische Praxis, Jahrgang 49, Heft 7, S. 52-56, Oldenbourg Verlag, München.

Karras, U., 2004, Mechatronik begreifen mit 3D-Simulation, Berufsbildungstage 2004, Berufsförderungswerk Dortmund, 2.-3. Juni 2004, Dortmund.

8. Autoren

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Roßmann
Institutsleiter

Institut für Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) der RWTH Aachen
Ahornstr. 55
52074 Aachen

Telefon: 0241 80 261 00
E-Mail: rossmann@mmi.rwth-aachen.de

Dr. Ulrich Karras
Produktmanager

FESTO Didactic GmbH & Co. KG
Rechbergstr. 3
73770 Denkendorf

Telefon: 0711 3467 1334
E-Mail: dka@de.festo.com

Dipl.-Inform. Oliver Stern
Abteilungsleiter Robotertechnik

Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e.V.
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 20
44227 Dortmund

Telefon: 0231 9700 782
E-Mail: oliver.stern@rt.rif-ev.de



Training und Ausbildung

Leitsysteme für lokale Industrienetze – Gestaltung und Visualisierung von Prozessparametern

Dipl.-Ing. Tomasz Smieja, M.Sc.
Dr.-Ing. Przemyslaw Komarnicki
Dr.-Ing. Martin Endig

Lebenslauf



Tomasz Smieja, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät für Elektrotechnik und
Informationstechnik (FEIT)
Institut für Elektrische Energiesysteme (IESY)
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 67 11 071
E-Mail: tomasz.smieja@ovgu.de

2000 – 2003	Studium der Elektrotechnik an der Technischen Universität Wroclaw
2003 - 2005	Doppeldiplom-Student an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Abschluss als Master of Science (2 Diplome: Deutsch und Polnisch)
Juli 2005	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Elektrische Netze und Elektroenergiequellen an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Leitsysteme für lokale Industrienetze – Gestaltung und Visualisierung von Prozessparametern

Tomasz Smieja, M.Sc., Dr.-Ing. Przemyslaw Komarnicki, Dr.-Ing. Martin Endig

1. Einführung

Die gegenwärtige Situation der Energiebranche, geprägt durch Liberalisierung und Unbundling, führt zu neuen Herausforderungen wie z. B. dem Ausbau der Netzinfrastruktur und der Verbesserung der Kommunikationssysteme, deren Erfüllung die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Energiesystems gewährleisten soll. Durch steigende Integration dezentraler Energieerzeugungsanlagen (DEA), wie z. B. Windkraftanlagen, Solarzellen sowie Biomasseanlagen in das Netz werden die zuverlässige Überwachung, die Steuerung und der Schutz eines solchen eingebetteten Systems immer komplexer.

Die optimale Führung eines elektrischen Netzes mit dazugehörigen Energiewandlungsanlagen kann nur unter ständiger Beobachtung relevanter Parameter des Gesamtsystems gewährleistet werden. Dabei sollen direkte Netzinformationen, wie z. B. real erfasste Messparameter, aber auch Vorhersagen, wie Wetter oder Windeinspeisung, bis zu Geoinformationsdaten berücksichtigt werden.

Um einen für alle relevanten Netzbetriebsteilnehmer entsprechenden Informationsfluss gestalten zu können, werden standardisierte Datenbankstrukturen sowie Modelle wie das Common Information Model (CIM) eingesetzt. CIM gibt ein generelles Verständnis verschiedener Grundbegriffe und Zusammenhänge im Energiebereich. Es enthält sowohl Objekte zur Darstellung der Netztopologie, wie Transformatoren, Leitungen, Umspannwerksbereiche und Lastkurven, als auch betriebswirtschaftliche Objekte, wie Verträge, Kunden oder Fahrpläne.

Die auf diese Weise aufgebauten Netzüberwachungssysteme sollten in der Lage sein, einen Experten in einer Leitwarte zu unterstützen. Insbesondere hinsichtlich kritischer Zustände steigt die Anzahl an Informationen, die in kürzester Zeit analysiert und ausgewertet werden müssen, sehr stark an. Insofern kann die zweckmäßige Darstellung der aus den Messstellen gelieferten Daten bzw. Simulationsergebnissen sowohl die Reaktionszeit verkürzen als auch die Effizienz bei der Problemanalyse steigern.

Für den optimalen Betrieb des Netzes stehen, für das Leitwartepersonal, Zahlreiche Applikationen zur Verfügung, die den Experten bei der Arbeit unterstützen sollen. Schließlich die Aufteilung der Aufgaben bei der Systemführung wird vorgeschlagen. Dieses soll als Basis für die weitere Spezifizierung der Visualisierungsmethoden sowohl der Netzparameter als auch der Systemzustände mitberücksichtig werden.

In den Beitrag wird die Komplexität der Aufgaben bei der Systemführung im Bereich elektrische Netze dargestellt. Die Systemführung soll nicht nur die technischen Anforderungen des Systems berücksichtigen aber auch die Marktverhalten in betracht nehmen, da das Netz zu einer Plattform geworden ist, die den Stromaustausch zwischen den Stromlieferanten und den Verbraucher, ermöglicht.

2. Systemführung

Die Planung und der Betrieb der elektrischen Netze soll folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Das System muss in der Lage sein, die Anforderungen der Kunden zu erfüllen und den stabilen Betrieb bei ständiger Veränderung des Verbrauchs bzw. der Einspeisung der Wirk- und Blindleistung zu gewährleisten. Da die elektrische Energie mit konventionellen Methoden nicht effizient gespeichert werden kann, soll die adäquate Menge der Reserveleistung im System ständig zur Verfügung gestellt werden.
- Das System soll den Verbraucher mit möglichst geringen Kosten und ökologischem Einfluss mit Energie versorgen.
- Die Qualität der Versorgung muss die Standards bezüglich folgender Faktoren erfüllen:
    - Frequenzhaltung,
    - Spannungshaltung,
    - Zuverlässigkeit.

Lokal sind die Netzbetreiber für die elektrischen Netze zuständig. Sie beobachten und regeln permanent in eigenen Leitstellen das Gleichgewicht von Stromerzeugung und Nachfrage. Die Koordination übernimmt die Systemführung, die in zentrale Netzleitstelle, die Überwachung, Führung und Steuerung des Netzes realisiert ist. Bei der Erfüllung dieser Aufgaben kann erheblicher Aufwand entstehen, deswegen sind für das Schaltpersonal unterschiedliche Funktionen zur Verfügung gestellt, Abbildung 1. Ferner werden die Hauptfunktionen kurz charakterisiert.

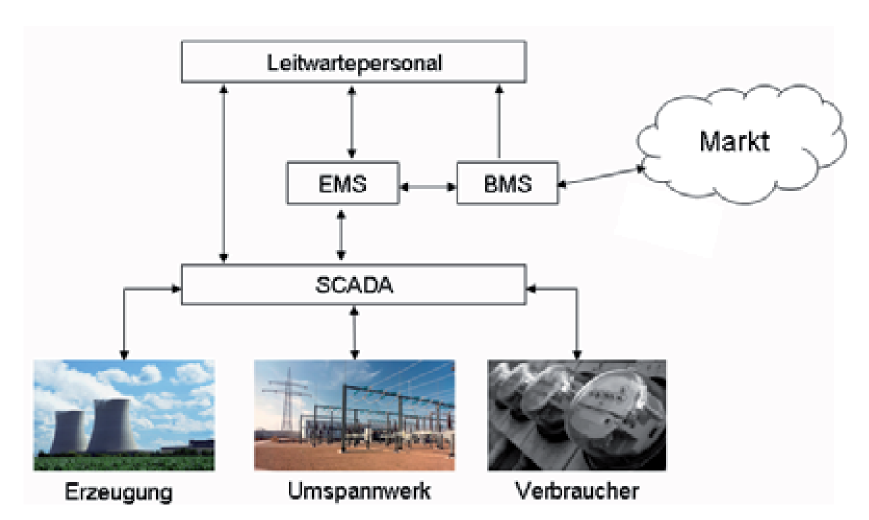


Abbildung 1: Hauptfunktionen der Leitwarte.

2.1. SCADA

Die SCADA-Funktion (Supervisory Control and Data Aquisition) sammelt die Echtzeit-Messungen von Netzparametern aus den Umspannwerken um einen Snapshot vom Netzzustand zu erhalten. Die in der Datenbank gespeicherten Daten sind auch für die anderen Anwendungen verfügbar (Automatic Generation Control, Sicherheitsanalyse). Die Datenverarbeitung eines SCADA-Systems behandelt die folgenden Basis-Datentypen: Messwerte, Meldungen, Zähler Status-Flags(Merkmale), Ersatzwerte, Befehle, Sollwerte. Darüber hinaus können in einem SCADA-System auch noch andere anwendungsabhängige Datentypen existieren.

2.2. Energy Management System

Die Überwachungs- und Steuerungssysteme in einer Leitwarte haben sich im Laufe der Zeit in sehr komplexe Kommunikation-, Rechnungs- und Kontrollsysteme entwickelt. Für die Führung der elektrischen Netze muss eine Leitwarte etliche Funktionen erfüllen, die in Form von Applikationen in der Leitwarte implementiert sind. Ein Energy Management System (EMS) stellt ein System dar bestehend aus mehreren einzelnen Applikationen. Das EMS dient der wirtschaftlichen und technischen Optimierung der Netzführung.

Das EMS übernimmt die aussagekräftige Echtzeitvisualisierung durch Topologieerfassung und Berechnung des Schaltzustands des Netzes. Die Visualisierung ist auf Grund der Daten aus den Stellungsmeldungen der Schaltgeräte realisiert. Anschließend ist das Betriebszustand der Leitungen und Sammelschienen farblich dargestellt.

Die Applikationen des EMS realisieren ebenso die Prognostizierung des Energieverbrauchs, Erstellung der Kraftwerkseinsatzplanung und automatische Einhaltung bestimmter vertraglich geregelter Bezugsleistung durch Vorgabe von Reglersollwerten sowie Zu- und Abschalten eigener Erzeuger und Großverbraucher. Die Prognosen werden weiter genutzt, um das kontinuierliche Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch beizubehalten. Dies geschieht mittels der Automatic Generation Control (AGC) Funktion. Das AGC setzt sich aus Load Frequency Control (LFC), das für die Netzfrequenzhaltung verantwortlich ist, und aus Economic Dispatch (ED) zusammen. ED passt die Ausgangsleistung der Generatoren an das optimale Minimum der Versorgungskosten ein.

Der letzte Teil des EMS-Systems ist die Netzsicherheitsanalyse.
Die Netzsicherheitsanalyse liefert, auf Basis der in SCADA gespeicherten Daten, eine Information über den genauen Zustand des Netzes. Weiterhin wird eine Liste von Betriebsstörungen oder Schadensmöglichkeiten (Contingencies) wie Generator- bzw. Übertragungslinie-Ausfall vorgeschlagen. Für jede Contingencies wird ein Lastfluss berechnet, um die möglichen Schwachstellen in Form von Überlastungen bzw. erheblichen Spannungsabweichungen im Netz zu lokalisieren.

2.3. Business Management System

Der Strommarkt unterscheidet sich von anderen Märkten in diesem Sinne, dass er ständig bilanziert werden muss. Diese Bedingung führt dazu, dass die Marktstruktur mehr komplex aufgebaut ist. Ein Teil der Leitwarte, das für Business-Applikationen verantwortlich ist, wird als Business Management System (BMS) bezeichnet.

Die Marktspieler kaufen und verkaufen die Energie, um den eigenen Profit zu erhöhen. Das verursacht, dass die Energieflüsse durch das Marktverhalten stark beeinflusst sind. Die SCUC- Funktion (Security-Constrained Unit Commitment) wird im Vorlauf, auf Basis der durch Erzeuger akzeptierten Angebote, ein Plan zum Anlauf bzw. Abfahren von Kraftwerken aufstellen.

Zusätzlich zum Markthandel werden auch die planmäßigen Transaktionen aus bilateralen Verträgen realisiert (Terminmarkt). Dies verursacht enorme Intensivierungen der Energieübertragung und im Endeffekt führt dies zu häufigen Engpässen in Übertragungsnetzen. Um die Engpässe zu beseitigen, ist ein Engpassmanagement notwendig.

3. Konzept der Datenbankstruktur - CIM

Die Aufgaben, die ein Energie Management System (EMS) erfüllt, werden durch eine Vielzahl von Komponenten erfüllt. Das richtige Zusammenspiel der Komponenten unter einander, und somit auch eine funktionierende Kommunikation zwischen ihnen, ist eine wichtige Voraussetzung, um ein EMS zu betreiben. Ein Problem das hierbei auftritt, ist die nicht einheitliche Kommunikationsschnittstelle zwischen den Komponenten, da die meisten Komponenten herstellerspezifische Standards verwenden. Somit benötigt jede Komponente zur Kommunikation mit einer anderen Komponente einen entsprechenden Adapter, der die beiden Kommunikationsformate in einander umwandelt. Mit steigender Zahl der Komponenten, wird hierbei schnell eine unüberschaubare Anzahl an notwendigen Kommunikationsadaptern benötigt.

Um die Übersichtlichkeit bei verwendeten Kommunikationsadaptern zu verbessern, muss ein gemeinsamer Kommunikationsstandard zwischen allen Komponenten existieren, welcher als Plattform für das gesamte System dienen kann. Das Common Information Model (CIM) stellt so einen Standard dar. Hierdurch muss für jede verwendete Komponente nur noch ein Adapter erstellt werden, der das komponentenspezifische Format in eine CIM-konforme Form umwandelt und ersetzt die Vielzahl von Adaptern, die vorher notwendig waren, um die systeminterne Kommunikation sicher zu stellen. Komponenten, die CIM-konform Informationen austauschen, können Applikationen wie SCADA, Lastmanagement, Energieerzeugungssteuerung, dynamische Simulationen und noch weitere sein. Auch die Verwendung von Energiefahrplänen und finanziellen Einflussfaktoren sowie die Erfassung von Messwerten und Steuerung von Geräten der Leittechnik über die Protokolle nach IEC 61850 und C37.118 können sich die CIM-Definition zu nutze machen. Abbildung 2 verdeutlicht das Prinzip der Kommunikation der Komponenten unter einander mit Hilfe eines digitalen Modells des Energie Management Systems auf CIM-Basis.

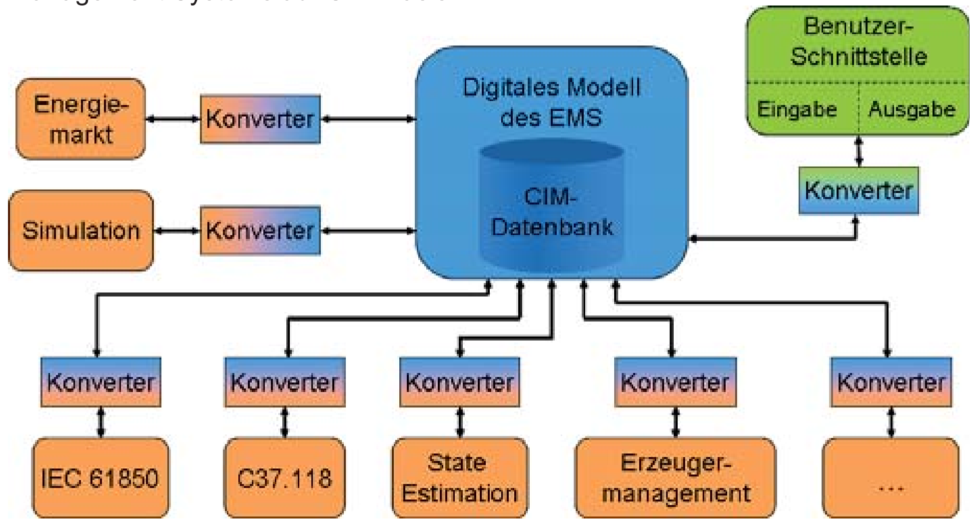


Abbildung 2: Digitales Modell eines EMS unter Verwendung von CIM.

Das Common Interface Model ist eine abstrakte Beschreibung eines Energie Management Systems auf Basis von UML (Unified Modeling Language), welche durch die Normenreihe IEC 61970 beschrieben wird. Das gesamte Modell besteht aus mehreren Paketen, die jeweils ähnliche Elemente zusammenfassen. Teil 301 der Norm IEC 61970 definiert die grundlegenden Elemente von CIM, die unter anderem die Kernkomponenten, Last- und Erzeugungsmodelle, Modelle zu Messeinrichtungen, Modelle von Betriebsmitteln und Topologiedefinitionen enthalten. Elemente zur Modellierung von Energiefahrplänen, Finanzierung und Reserve werden in Teil 302 (noch in Bearbeitung) der Norm definiert.

4. Visualisierung in den verschiedenen Netzebenen

Zu besonders vorteilhaften Visualisierungslösungen für die Netzbetriebsführung ist die topologische Darstellung des Netzes, wobei durch den hohen Komplexitätsgrad der Netzstruktur wird häufig eine Kombination aus unterschiedlichen Detaillierungsgrades eingesetzt. Für die unterschiedlichen Objektsebenen sind relevante Netzabbildungen angewendet, Abbildung 3.

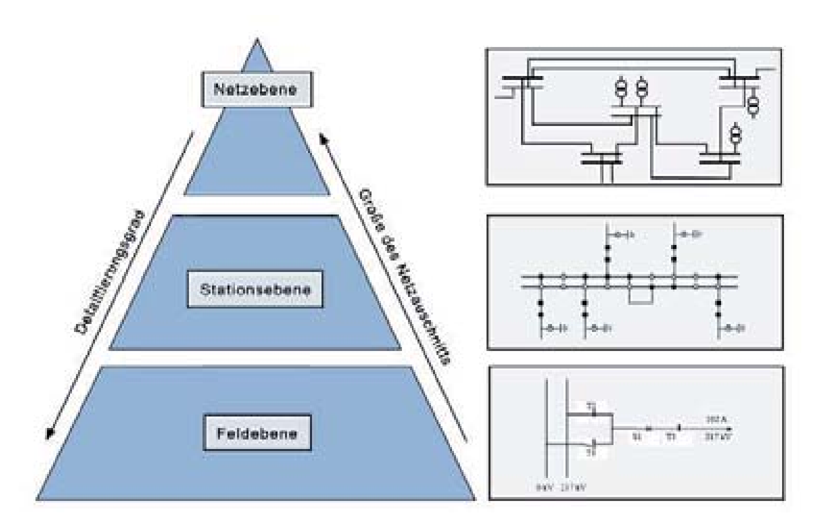


Abbildung 3:Betriebsebenenbezogene Netzdarstellung.

Abhängig von der Aufgabe des Leitwartepersonals und die zu überwachende Indikatoren (Abbildung 4) sind die Netzabbildungen unterschiedlich angewendet. Für die Kontrolle der Energiebilanz in dem Bilanzkreis und demzufolge auch den Leistungsaustausch zwischen benachbarten Regelzonen wird die Abbildung, die auf Netzebene basiert, genutzt. Da das zu beobachtete Netz häufig sehr ausgedehnt ist, ist diese Visualisierung für die globale Betrachtung des Systems besser geeignet. Die Vielzahl von Einzelinformationen erschwert nämlich die Wahrnehmung der für den Systemzustand relevanten Informationen.

Die Informationen aus der Feldebene, die den Stand der Betriebselemente beschreiben, bezeichnet hohe Detaillierungsgrad (Status der Betriebsmittel - Ein/Aus, Öltemperatur, Gasdruck etc.). Die werden auf externen Monitoren überwacht. Dadurch haben die Experten direkten zugriff zu den bestimmten Betriebsmittel und besseren überblick in der Zustand der Anlagen.

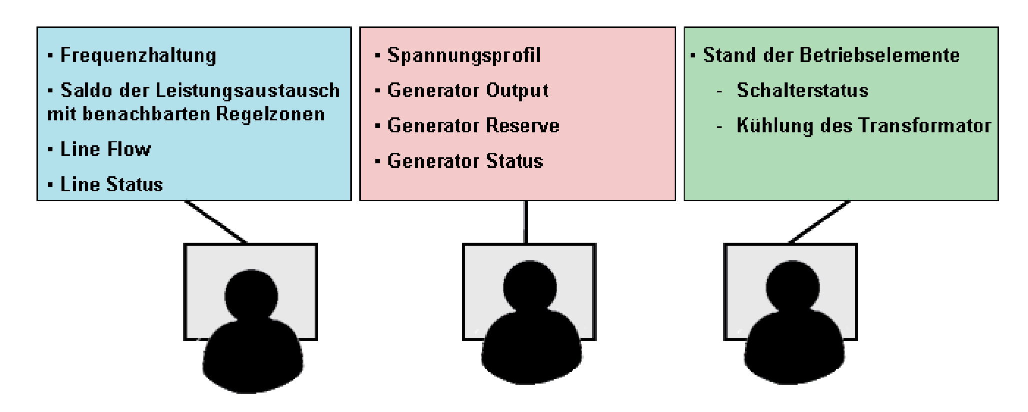


Abbildung 4: Aufteilung der Aufgaben bei der Überwachung des Netzes in der Leitwarte.

5. Zusammenfassung

Um der sichere und zuverlässige Stromversorgung zu gewährleisten sollen die elektrischen Netze kontinuierlich überwacht werden und an den aktuellen Stand der Energietransport angepasst werden. Die neue Vorstellung von Überwachung, Führung und Steuerung des elektrischen Systems soll die Anwendung einer verbesserten Visualisierungsmethoden berücksichtigen.
Neue Visualisierungsmethoden sind von besonderer Bedeutung für die Unterstützung der Systemführung, da sowohl eine ungenaue Lokalisierung des Fehlers als auch eine falsche Abschätzung des Netzzustandes kann zu falschen Entscheidungen des Leitwartepersonals führen. Eine Weiterentwicklung der Werkzeuge für Informationsvermittlung soll in der Zukunft die Aufgabe der sicheren Netzführung gewährleisten, einen problemfreien Datenaustausch garantieren und die Experten bei der Netzführung unterstützen. Bei der Datenaustausch soll durch die Konsistenz der Daten auch die Fehlerwahrscheinlichkeit verringern werden.
Die Vorteile der Einführung von Visualisierungstechnologien und neuen Operatorunterstützungssystemen lassen sich in Zukunft auch kombinieren, was zu einer weiteren Verbesserung der Effektivität der Arbeit auf einer Leitwarte führen wird.

In den Beitrag wurde die Komplexität der Aufgaben bei der Systemführung im Bereich elektrische Netze dargestellt. Weil die Aufgaben nicht nur die technische Ebene betreffen, aber auch immer häufiger das Marktverhalten mitberücksichtigen sollen, wird die aufgabenorientierte Informationsvermittlung enorme Rolle spielen. Dieses soll als Basis für die weitere Spezifizierung der Visualisierungsmethoden sowohl der Netzparameter als auch der Systemzustände mitberücksichtig werden.

6. Literatur

Smieja, T., Angelov, A. N., Styczynski, Z., 2007, Neue Visualisierungsmethoden kritischer Zustände in elektrischen Energiesysteme, 10.IFF-Wissenschaftstage, Magdeburg, Deutschland.

Styczynski, Z.A, Sachs, U., Mauser, S., 2006, Datenbank für die Planung und den Betrieb von elektrischen Energiesystemen. 11 Kasseler Symposium Energy Systems Technology, Kassel, Deutschland.

Kundur P., Power System Stability and Control, 1994, McGraw-Hill, New York.

Schwan, M., Haubrich, H.-J., Schnettler, A., 2005, Investigation of Power System Security and Availability, Proocedings INTELEC2005, Berlin.

Leder, C., 2002, Visualisierungskonzepte für die Prozesslenkung elektrischer Energieübertragungssysteme, Dissertation, Dortmund, Deutschland.

Schwab, A.J., Elektroenergiesysteme: Erzeugung, Transport, Übertragung Und Verteilung Elektrischer Energie, 2006, Springer Berlin.

Wu F. F. , Moslehi, K., Bose A., 2005, Power System Control Centers: Past, Present, Future, Proceedings of the IEEE, Volume 93, Issue 11.

Schnittstelle der Anwendungsprotokolle von Energieverwaltungssystemen (EMS-API) – Teil 1: Leitfaden und allgemeine Anforderungen (IEC 61970-1:2005).

Anwendungsprogramm-Schnittstelle für Netzführungssysteme (EMS-API) - Teil 301: Allgemeines Informationsmodell (CIM), (IEC 61970-301:2003).

7. Autoren

Tomasz Smieja, M.Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik (FEIT)
Institut für Elektrische Energiesysteme (IESY)
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 67 11 071
Telefax: 0391 67 12408
E-Mail: tomasz.smieja@ovgu.de

Dr.-Ing. Przemyslaw Komarnicki
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 373
Telefax: 0391 4090 370
E-Mail: przemyslaw.komarnicki@iff.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Martin Endig
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 120
Telefax: 0391 4090 93 120
E-Mail: martin.endig@iff.fraunhofer.de

12. IFF-Wissenschaftstage

16.-18. Juni 2009



Werkzeuge und Technologien

Konzept zur Realisierung einer Augmented-Reality-gestützten Bau- und Layoutplanung mit Hilfe eines laserbasierten Large-Area-Trackings

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Andreas Hoffmeyer
Dipl.-Ing.-Inf. Christian Bade
Dipl.-Ing. (FH) Fabian Doil

Lebenslauf



Dipl.-Wirtsch.-Ing. Andreas Hoffmeyer

Planung Marke Volkswagen

Volkswagen AG
Postfach 01619
38436 Wolfsburg

Telefon: 05361 924 697
E-Mail: andreas.hoffmeyer@volkswagen.de

30.07.1983	Geboren in Bassum
1996 - 2003	Besuch Neues Gymnasium Oldenburg
2003 - 2008	Dipl.-Wirtsch.-Ing. Logistik, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg
2004 - 2008	Praktika und Hiwi-Tätigkeiten in verschiedenen Unternehmen, Universität Magdeburg
08/2006 – 04/2007	Praktikum, Volkswagen AG, Produktionsplanung
05/2007 – 09/2008	Studentischer Mitarbeiter, Volkswagen AG, Produktionsplanung
Seit 10/2008	Doktorand, Volkswagen AG, Planung Marke Volkswagen, Wolfsburg

Lebenslauf



Dipl.-Ing.-Inf. Christian Bade

Planung Karosseriebau 1

Volkswagen AG
Postfach 1627
38436 Wolfsburg

Telefon: 05361 972 243
E-Mail: christian.bade@volkswagen.de

11.09.1981	Geboren in Stendal
08.07.2000	Abitur, Markgraf-Albrecht-Gymnasium Osterburg
07/2000 – 04/2001	Wehrdienst
02/2002 – 05/2004	Studentische Hilfskraft, Fraunhofer IFF, Magdeburg
07/2004 – 01/2005	Studium, Computer Information Systems, University of Wisconsin - Stevens Point, USA
03/2005 – 12/2005	Praktikum, Fraunhofer IFF, Magdeburg
10/2005 – 02/2006	Praktikum, Leibnitz-Institut IPK, Gatersleben
04/2006 – 10/2006	Diplompraktium, Volkswagen AG, Konzernforschung, Wolfsburg
22.09.2006	Diplom (mit Auszeichnung) Ingenieurinformatik Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
06/2006 – 01/2007	Wissenschaftler Mitarbeiter, Leibnitz-Institut IPK, Gatersleben
seit 01/2007	Doktorand, Volkswagen AG, Produktionsplanung, Wolfsburg

Konzept zur Realisierung einer Augmented-Reality-gestützten Bau- und Layoutplanung mit Hilfe eines laserbasierten Large-Area-Trackings

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Andreas Hoffmeyer, Dipl.-Ing.-Inf. Christian Bade, Dipl.-Ing. (FH) Fabian Doil

1. Einleitung

1.1. Motivation / Einleitung

Auf internationaler und nationaler Ebene vollziehen sich in der industriellen Produktion und im Dienstleistungsbereich tief greifende Wandlungsprozesse [SCH04]. Globalisierung der Produktion, steigende Marktdynamik und erhöhter Kostendruck zwingen die Industrieunternehmen zur ständigen innovativen Anpassung ihrer Fabrik- und Produktionsstrukturen. Das Ziel einer langfristigen Unternehmenssicherung kann im internationalen Wettbewerb nur erreicht werden, wenn die Anpassung an diese immer schneller wachsenden und sich wandelnden Anforderungen gelingt [MAL00]. Insbesondere die zunehmende Volatilität im Kaufverhalten der Kunden sowie eine immer stärkere Nachfrage nach individualisierten Produkten stellen hohe Anforderungen hinsichtlich einer flexiblen und qualitätsgerechten Produktion an die produzierenden Unternehmen.
Für die Volkswagen AG, als einer der führenden Automobilhersteller weltweit und der größte Automobilproduzent Europas mit über 61 Fertigungsstätten auf 21 Länder verteilt, bedeutet dies nicht nur die Optimierung bestehender Fertigungsstrukturen sondern vor allem die Umsetzung neuer Fahrzeugprojekte.
Hierzu sind der Bau neuer Fabriken sowie die Integration neuer Modelle in bestehende Produktionsstrukturen erforderlich, wodurch ein hoher Planungsaufwand entsteht. Heute werden diese komplexen Planungsaufgaben mit Hilfe der Digitalen Fabrik gelöst. Am Ende des digitalen Fabrikplanungsprozesses stehen jedoch reale Fertigungshallen und Betriebsmittel. So gibt es aktuell bei der Realisierung der Projekte vor Ort, also auf den Baustellen viel Handarbeit und wenig Hightech. Was nicht passt, wird passend gemacht und oft fallen erst vor Ort Entscheidungen und werden Pläne erst nachträglich der Realität angeglichen. Bauen heute ist demnach meist teurer als geplant und dauert länger als erwartet.
Das heißt es existiert derzeit keine geeignete Synchronisation zwischen dem digitalen Planungsprozess der Bau- bzw. Layoutplanung und der Realisierung vor Ort. Ein Ansatz zur Lösung der genannten Integrationsproblematik bietet die Augmented Reality Technologie (AR). Ihre Schnittstellenfunktion zwischen der Realität und digitalen Planungsprozessen konnte bereits vielfach nachgewiesen werden[1]. Die Augmented Reality Technolgie visualisiert relevante Informationen durch die Überlagerung der realen und virtuellen Welt. Bereits während des Planungsprozesses kann das Bauobjekt vor Ort gesehen und beurteilt werden. In der Bauphase können Soll/Ist-Zustände visuell verglichen und Fehler sowie zu erledigende Arbeiten besser erkannt werden.
Prototypische Ansätze für das beschriebene Szenario scheitern bisher an der Flexibilität der eingesetzten AR-Systeme. Insbesondere Einschränkungen im Bereich der Positionsbestimmung im Raum limitieren die Demonstratoren.

[1] Siehe [BAD06], [DOI03], [PEN07], [TEG06], [TÜM06]

Daher wird in diesem Beitrag ein neuer Ansatz zur Realisierung einer dynamischen Augmented Reality gestützten Bau- und Layoutplanung mit Hilfe eines laserbasierten Large-Area-Trackings beschrieben.

2. Augmented Reality in der Fabrikplanung

Um eine vollständige Integration der Digitalen Fabrik in den realen Produktionsalltag zu realisieren, sind effiziente Schnittstellen notwendig, die es ermöglichen, die Realität unter vertretbarem Aufwand mit der digitalen Planungswelt zu synchronisieren [BAD08]. Insbesondere fehlerhafte beziehungsweise nicht vorhandene dreidimensionale Modelle bestehender Hallenstrukturen und Fertigungsanlagen begrenzen die Potenziale der Digitalen Fabrik. Weiterhin verlieren vorhandene Layouts aufgrund der Dynamik eines Fabriksystems schnell an Aktualität. Die Augmented Reality Technologie bietet als Schnittstelle zwischen virtueller und realer Welt großes Potenzial diesen Anforderungen gerecht zu werden. Mit dieser Technologie lässt sich die visuelle Wahrnehmung des Anwenders um virtuelle Informationen anreichern, in dem beispielsweise 3D-Modelle von Fabrikobjekten lagerichtig und perspektivisch korrekt in reale Fabrikhallen eingeblendet werden. Im Bereich der Fertigungsplanung sind zahlreiche Pilotprojekte durchgeführt worden, aus denen sich bei einigen Anwendungsfällen Systeme entwickelt haben, die heute produktiven Einsatz finden [PEN07].

2.1. Anwendungsfelder von Augmented Reality in der Fabrikplanung

Die Volkswagen AG beschäftigt sich seit 2003 mit der Erforschung der Anwendungsmöglichkeiten der Augmented Reality Technologie für die Fabrikplanung, speziell im Teilbereich der Fertigungsplanung. Seitdem wurden zahlreiche Anwendungsfelder identifiziert, von denen bis heute fünf bis zur produktionsreife vorangetrieben werden konnten [BAD08]. Dabei handelt es sich um Störkantenanalysen, Konzeptplanungen, Soll/Ist- Vergleiche, Bauteilüberprüfung und Planungsworkshops (vgl. Abb. 1).



Abbildung 1: Anwendungsfelder von Augmented Reality im Bereich der Fertigungsplanung bei der Volkswagen AG.

Störkantenanalysen ermöglichen die Überprüfung der Freigängigkeit neuer Produkte in bestehenden Fertigungs- oder Transportsystemen, noch bevor erste Produktprototypen existieren. Die Konzeptplanung dient in erster Linie der Entscheidungsfindung und Verifikation von Planungsständen in bestehenden Gebäudestrukturen. Bei Umplanungen werden Soll/Ist- Vergleiche durchgeführt, welche digitale Planungsdaten als Grundlage für die Änderungsmaßnahme verifiziert. Dies geschieht für Betriebsmittel und mit leicht geändertem Systemsetup auch für Bauteildaten. Die AR-Unterstützung von Planungsworkshops ermöglicht mehreren

Anwendern in kurzer Zeit interaktiv verschiedene Varianten von Fertigungslayouts zu entwickeln und zu bewerten.

Eine der wesentlichen Voraussetzungen für eine korrekte Überlagerung ist das Erfassen von Position und Orientierung relevanter Objekte in der Realität und die Registrierung dieser Objekte in der virtuellen Umgebung. Dieser Prozess wird als Tracking bezeichnet.
In der Vergangenheit hat sich das optische Markertracking bewährt. Der geringe Umsetzungsaufwand und die im Nahbereich (Arbeitsbereich von 1 m bis 15 m) realisierbare Robustheit sprechen für das markerbasierte Verfahren, so dass die meisten der o.g. Anwendungen damit umgesetzt wurden. Beim detailrelevanten Soll/Ist-Vergleich im Nahbereich, wie es beispielsweise beim Bauteilvergleich der Fall ist, kommen auch mechanische Trackingsysteme zum Einsatz [Teg06]. Mit erreichten Genauigkeiten im Submillimeterbereich sind diese sehr präzise; verfügen jedoch über einen limitierten Arbeitsbereich.
Für Anwendungen, bei denen Arbeitsbereiche größer als 15 m x 15 m abgedeckt werden sollen, fehlen bisher hinreichend genaue Trackingverfahen mit vertretbarem Rüstaufwand.

2.2. Layout- und Bauabnahme

Eine Anwendung mit entsprechend großem Arbeitsbereich ist die Layout- oder Bauabnahme beim Neubau von Fabrikhallen oder bei deren Übergabe an einen neuen Betreiber. Die Ausplanung der Produktionsmittel beginnt in der Regel lange bevor die reale Halle zur Verfügung steht und basiert auf existierenden Layoutplänen oder – im Fall von Neubauten – den Konstruktionszeichnungen. Dabei wird von der Korrektheit der zur Verfügung gestellten Pläne ausgegangen. Zu einem definierten Zeitpunkt erfolgt die Übergabe der Produktionsgebäude von der Bauplanung oder vormaligem Nutzer an den neuen Betreiber. Im Rahmen dieser Übergabe werden die existierenden Pläne und Layouts bei einer Begehung der Produktionsumgebung manuell geprüft. Auf den Baustellen werden in der Regel 2D-Pläne und ausgedruckte 3D-Zeichnungen eingesetzt um den Abgleich zwischen der Planung und dem realen Aufbau vor Ort durchzuführen.
Fallen in dieser Phase Abweichungen zwischen den Plänen und der Realität auf, so ist eine Änderung der bereits erfolgten Planung oder der realen Produktionsumgebung kostspielig und zeitaufwändig.
Abweichungen, die während dieses Abgleichs übersehen werden, zeigen sich erst sehr spät beim Aufbau der geplanten und bereits beschafften Produktionsmittel. Dies zieht neben Zeit und Kosten oft auch die fatale Verspätung des Produktionsanlaufs nach sich.

Heutige AR-Unterstützung
Die AR-Technologie ermöglicht das Überprüfen von Konstruktions- und Layoutplänen, durch die Überlagerung der vorhandenen Konstruktionsdaten in Bildern und Videos der realen Produktionsumgebung (vgl. Abb. 4 und 5). Auf diese Weise wird das Erkennen von Abweichungen vereinfacht und die Gefahr des „Übersehens“ deutlich reduziert.
Das heute eingesetzte Markerbasierte Tracking weist jedoch den Nachteil auf, dass die erreichte Genauigkeit bei großen Entfernungen nachlässt oder nur mit ungleich hohem Einrüstaufwand erreichbar ist. Es würden mehrere Trackingtargets von über einem Meter Größe und ein Vermessungssystem mit hoher Reichweite benötigt, um diese exakt in der Halle einzumessen.

Herausforderungen
Das Anwendungsszenario erfordert auch bei großem Arbeitsvolumen von Hallen mit Abmessungen von 100 m x 100 m eine genaue Bestimmung von Kameraposition und Orientierung. Da die Abnahmen bei einer Begehung vor Ort stattfinden, ist

es erforderlich, dass die Überlagerung und somit auch das Tracking kontinuierlich in Echtzeit erfolgen. Das eingesetzte Trackingsystem muss bei den genannten Entfernungen eine quantifizierte Aussage zu erkannten Abweichungen ermöglichen. Dies ist insbesondere bei der Feststellung von Positionsabweichungen einzelner Objekte erforderlich.
Bei der Bauabnahme handelt es sich in der Regel um einen einmaligen Termin, so dass ein entsprechendes System mobil auszuführen ist und möglichst kurze Rüstzeiten aufweisen sollte.

Im Folgenden wird ein Konzept für ein mögliches Systemsetup und Vorgehen beschrieben, mit dem den aufgeführten Herausforderungen für das Anwendungsfeld „Layout- und Bauabnahme" begegnet werden soll. Dabei soll ein Lasermesssystem genutzt werden, welches die vom Laserscanning bekannten Vorteile in den Bereichen Reichweite und Genauigkeit bietet.

3. Konzept zur Realisierung einer Augmented Reality gestützten Bau- und Layoutplanung mit Hilfe eines laserbasierten Large-Area-Tracking

3.1. Systemsetup und Funktionsweise

Das Systemsetup zur Realisierung einer Augmented Reality gestützten Bau- und Layoutplanung mit Hilfe eines laserbasierten Large-Area-Trackings besteht aus einem AR-Wagen und einem Lasertracker, der auf einem Stativ befestigt ist (siehe Abb. 2). Der AR-Wagen enthält alle typischen Komponenten, die für ein AR-System benötigt werden. Dazu gehört eine leistungsstarke Recheneinheit zur Berechnung der Trackingdaten, zur Datenhaltung und zur Generierung der einzelnen Szenen. Zur Aufnahme der Realität wird eine digitale Industriekamera mit einer Auflösung von 1920 Pixel x 1080 Pixel und einem Objektiv mit fester Brennweite eingesetzt. Die Visualisierung der überlagerten Bilder ermöglicht ein ausziehbarer 19 Zollmonitor, der weiterhin auch eine Tastatur und ein Touchpad für nötige Eingaben beinhaltet.

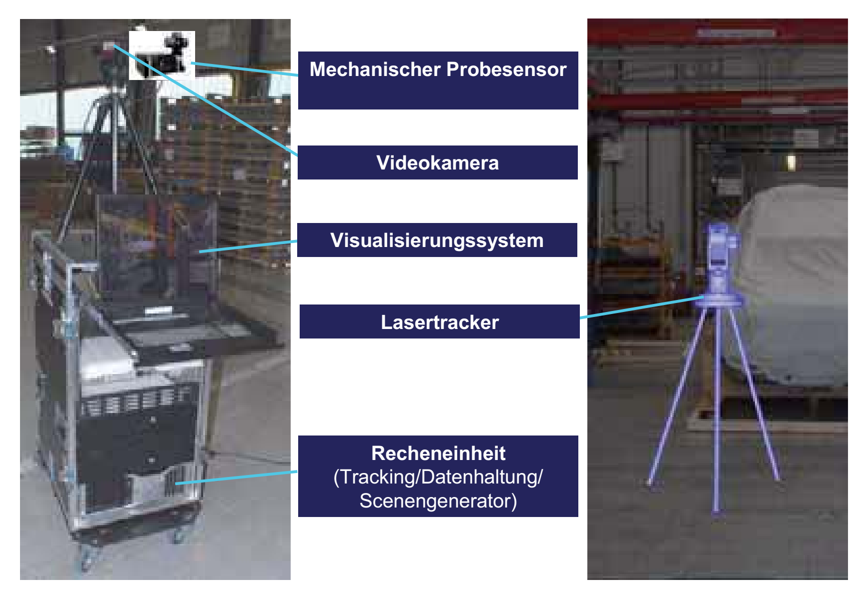


Abbildung 2: Systemsetup für die Augmented Reality gestützte Bau- und Layoutplanung mit Hilfe eines laserbasierten Large-Area-Trackings.

Das Tracking wird nicht, wie beim herkömmlichen Vorgehen, mit Markern umgesetzt, sondern als hybrides Tracking, bestehend aus einem Lasertracker und ei-

nem mechanischen Probesensor, aufgebaut. Der Probesensor ist zusammen mit der Industriekamera fest auf einer Grundplatte am AR-Wagen auf einem beweglichen Stativkopf montiert. Dies ist erforderlich um die Kamerapose mit den Trackingdaten zu synchronisieren.
Die Funktionsweise des hybriden Trackingsystems ist in Abbildung 3 dargestellt. Zu Beginn einer Augmented Reality gestützten Bau- und Layoutplanung ist das 3D-Modell des Untersuchungsbereiches so aufzubereiten, dass das Ursprunkskoordinatensystem des Digitalen Modells mit dem der realen Umgebung kongruent ist.
Anschließend werden im ersten Schritt vor Ort mindestens drei Referenzpunkte in der Halle definiert, deren Lage zum Ursprungskoordinatensystem bekannt ist.

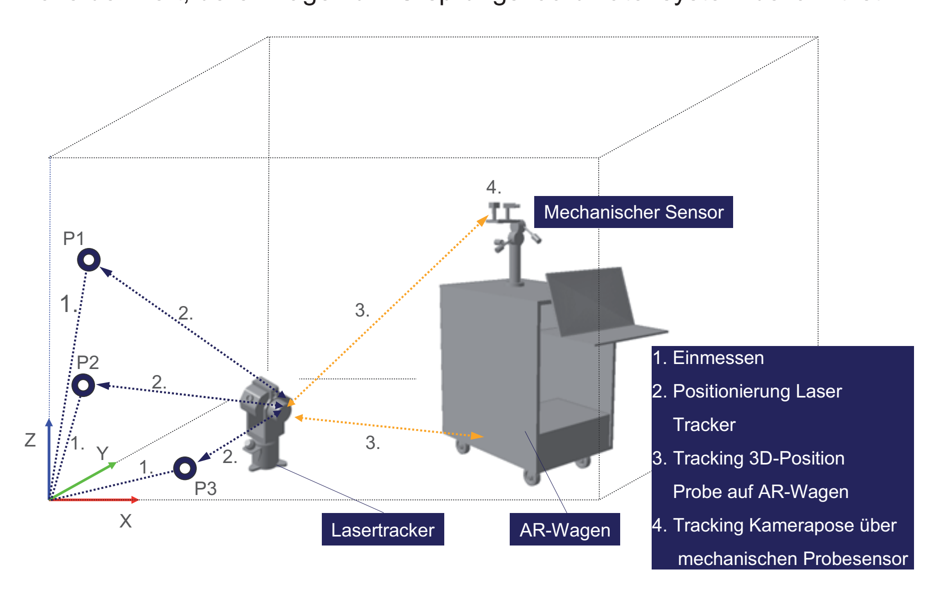


Abbildung 3: Funktionsweise des laserbasierten Large-Area-Trackings.

Im zweiten Schritt wird der Lasertracker in der Halle positioniert. Die Referenzierung des Lasertrackers im Raum wird über das Einmessen der Referenzpunkte realisiert. Somit ist dessen 3D-Position in Bezug zum Ursprungskoordinatensystem genau definiert. Einmalig werden die Positionsdaten des Trackers in Bezug zum Ursprungskoordinatensystem an den AR-Wagen übermittelt
Im dritten Schritt ist die Position des AR-Wagens beziehungsweise der Probe zu ermitteln. Hierzu verfolgt der Tracker die Probe mit einem Laserstrahl und berechnet kontinuierlich die 3D-Koordinaten in Bezug auf seinen Ursprung. Diese Daten sendet ein W-LAN Modul an die Recheneinheit im AR-Wagen. Parallel dazu bewegt sich die Probe im 4. Schritt elektromotorisch und richtet sich zum Tracker aus, während mechanische Sensoren ihre Orientierung (Drehwinkel) im Raum ermitteln. Über die kalibrierte Beziehung von Probe und Kamera kann die Orientierung der Kamera bestimmt und diese Daten ebenfalls an die Recheneinheit übermittelt werden. Hierdurch ist der Rechner in der Lage alle 6 Freiheitsgrade der Kamera in Bezug auf das Ursprungskoordinatensystem zu berechnen.
Diese Trackinginformationen werden an die AR-Software übergeben, so dass die Überlagerung des 3D-Modells mit der realen Umgebung möglich wird.

Durch die Realisierung des hybriden laserbasierten Large-Area-Trackings kann der AR-Wagen frei im Raum bewegt werden und zusätzlich die Kamera in unterschiedliche Richtungen gedreht werden. Demnach ermöglicht das System die dynamische Visualisierung von AR-Szenen.
Der erste Prototyp des vorgestellten Systemsetups erlaubt das Tracking in einem Radius von 60 Metern um den Lasertracker, so dass eine Fabrikhalle von ca. 130 m x 130 m untersucht werden kann. Aufgrund der hohen Flexibilität des konfigurierten Systems ist mit einem geringen Aufwand auch die Untersuchung größerer

Gebäude möglich. Hierzu sind lediglich die Schritte 1 und 2 zu wiederholen, wobei als Ursprungskoordinatensystem für Zwischenmessungen auch jeweils drei Messpunkte herangezogen werden können. Allerdings ist dabei der Genauigkeitsverlust durch die Addition der einzelnen Messfehler zu beachten. Nach Herstellerangaben verliert der für den Prototyp eingesetzte Lasertracker zur Probe 0,01 Millimeter pro Meter Entfernung an Genauigkeit. Über die Genauigkeit der Schritte 1 und 2 liegen derzeit noch keine Angaben vor.

3.2. Erste Einsatzszenarien

Nach der Beschreibung der Systemkonfiguration und des laserbasierten Large-Area-Trackings werden nachfolgend zwei Einsatzszenarien, in denen das System erprobt werden soll, vorgestellt.

1. Aufbaumonitoring bzw. Ab- und Übernahme von Fabrikgebäuden

Bei der Umsetzung der Architektur neuer Fabriken kommt es immer wieder zu Problemen in der Kommunikation, Koordination und Dokumentation. Baupläne werden nicht vollständig eingehalten und als Folge stimmt das Fabrik DMU nicht mit dem realen Modell überein. Dadurch kommt es in weiteren Planungsphasen zu Fehlern, da Layoutkomponenten nicht an die in der Realität veränderte Umgebung angepasst werden können. Mit dem vorgestellten System können bereits in frühen Bauphasen Soll/Ist-Vergleiche zwischen Fabrik DMU und realen Gebäudestrukturen durchgeführt werden. Abbildung 4 zeigt exemplarisch einen solchen Vergleich für einen neuen Stahlbaubereich. Im linken Bild ist zu erkennen, dass im linken Kreis ein Stahlträger real vorhanden ist wohingegen der rechte Kreis keinen enthält. Das rechte Bild zeigt die Differenz zwischen 3D-Modell und dem neuen Stahlbau auf. Im linken Kreis ist laut 3D-Modell kein Stahlträger vorgesehen und im rechten Kreis ein Träger erforderlich.



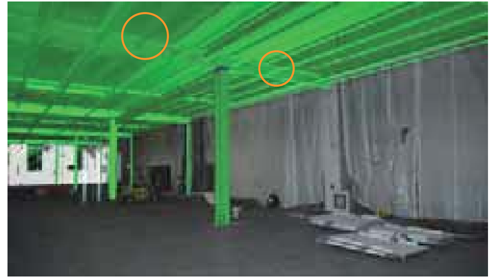


Abbildung 4: Beispielszenario Aufbaumonitoring bzw. Ab- und Übernahme von Fabrikgebäuden.

Dieser Abgleich zeigt bereits während der Bauphase Abweichungen auf. Weiterhin kann damit auch die Abnahme eines fertigen Gebäudes oder auch die Übernahme unterstützt werden.

2. Visualisierung von Planungskonzepten

Nach der Fertigstellung der Gebäude können mit dem System Planungskonzepte (Betriebsmittel / Gebäudestruktur / Fördertechnik / Logistik / weitere Layoutkomponenten) in ihrer späteren realen Umgebung visualisiert und validiert werden. Frühzeitig können Planungsfehler erkannt und ohne große Kosten behoben werden, da die Änderungen nur im 3D-Modell erfolgen müssen. Auch Probleme, die aufgrund von Unterschieden zwischen realem Bau und dem Fabrik DMU entstehen, können ohne einen aufwendigen Laserscan reduziert werden. Abbildung 5 zeigt als Beispielszenario die Visualisierung einer neuen Fördertechnikanlage in einer bestehenden Fabrikhalle. Durch die Darstellungsmöglichkeit mehrerer Planungskonzepte und Detaillierungsstufen können schnell und mit einem geringen Aufwand Bewertungen durchgeführt und Dokumentationen erstellt werden. Weiterhin kann Insbesondere die Kommunikation durch die qualitativ

hochwertige Visualisierung verbessert und dem Planer einen einfachen Einstieg in die digitale Planungswelt ermöglicht werden.





Abbildung 5: Beispielszenario Visualisierung und Verifikation von Planungskonzepten.

4. Zusammenfassung / Ausblick

Zu Beginn des Beitrags wurde die Augmented Reality Technologie im Bereich der Fabrikplanung als Schnittstelle zwischen der Digitalen Fabrik und der realen Fabrik vorgestellt und aktuelle Anwendungsfelder beschrieben. Dabei wurden bestehende Limitierungen im Bereich des Trackings als Basistechnologie der AR aufgezeigt. Weiterhin wurde verdeutlicht welche Anforderungen das Einsatzszenario Konzept- und Layoutplanung für einen produktiven Einsatz an Trackingsysteme stellt.
Um diesen Herausforderungen zu begegnen wurde ein Konzept für ein hybrides Large-Area-Tracking-System erarbeitet, das die Vorteile von Lasermesssystemen für die AR nutzbar macht.
Der Beitrag schließt mit der Konzipierung eines ersten Prototyps und den geplanten Einsatzszenarien.

Um das Konzept in eine industriell nutzbare Lösung zu überführen sind für 2009 erste Pilotversuche vorgesehen. Dabei sollen folgende Fragestellungen analysiert werden:
Für die Usability ist die Klärung des Umgangs mit Verdeckungen der Sichtlinie zwischen Lasertracker und Probe entscheidend. Bisher ist eine manuelle Neujustierung notwendig, die in Zukunft zu automatisieren ist. Weiterhin ist ein Prozess zu entwickeln, der eine schnelle und zuverlässige Kalibrierung von Kamera und Probe ermöglicht. Letztendlich ist die Messgenauigkeit des Gesamtsystems zu ermitteln, wofür eine Analyse der Fehlerkette aller beteiligten Systemkomponenten durchzuführen ist.
Nachdem die Entwicklungsarbeit abgeschlossen ist, können weitere Einsatzfelder, wie z.B. das Positionieren von Betriebsmitteln in der Halle, erschlossen werden.

5. Literatur

Bade, Christian, 2006, Test und Erweiterung eines fotobasierten Augmented Reality Systems für Soll/Ist-Vergleiche von Fertigungsanlagen, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Fakultät für Informatik, Institut für Technische und Betriebliche Informationssysteme, Diplomarbeit.

Bade, Christian, Hoffmeyer, Andreas, Doil, Fabian, 2008, Industrielle Anwendung von Augmented Reality in der Fertigungsplanung bei der Volkswagen AG. 11. IFF Wissenschaftstage, Magdeburg.

Doil, Fabian, 2003, Augmented Reality gestützte Fabrik- und Anlagenplanung, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Fachbereich Maschinenbau, Diplomarbeit.

Mallon, Jürgen, 2000, Untersuchung kontinuierlicher Produktivitätsveränderungen in der Neuen Fabrik, Fortschrittsberichte VDI, Reihe 2, Nr. 551, VDI Verlag.

Pentenrieder, Katharina, Bade, Christian, Doil, Fabian, Meier, Peter, 2007, Augmented Reality based factory planning - an application tailored to industrial needs, Proceedings of The 6th International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), Nara, Japan.

Schenk, Michael, Wirth, Sigfried, 2004, Fabrikplanung und Fabrikbetrieb, 1. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Tegtmeier, André, 2006, Augmented Reality als Anwendungstechnologie in der Automobilindustrie, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Fakultät für Maschinenbau, Dissertation.

Tümmler, Johannes, 2006, Realisierung eines Augmented Reality basierten Kommissioniersystems für einen Referenzarbeitsplatz, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Fakultät für Informatik, Institut für Technische und Betriebliche Informationssysteme, Diplomarbeit.

6. Autoren

Diplom-Wirtschaftsingenieur, Andreas Hoffmeyer
Planung Marke Volkswagen (Doktorand)

Volkswagen AG
Postfach 01619
38436 Wolfsburg

Telefon: 05361 924 697
Telefax: 05361 957 24 697
E-Mail: andreas.hoffmeyer@volkswagen.de

Diplom-Ingenieurinformatiker, Christian Bade
Planung Karosseriebau (Doktorand)

Volkswagen AG
Postfach 01627
38436 Wolfsburg

Telefon: 05361 972 243
Telefax: 05361 957 72 243
E-Mail: christian.bade@volkswagen.de

Diplom-Ingenieur (FH), Fabian Doil
Konzernforschung Virtuelle Techniken

Volkswagen AG
Postfach 01511
38436 Wolfsburg

Telefon: 05361 949 089
E-Mail: fabian.doil@volkswagen.de



Werkzeuge und Technologien

Der Einfluss des Tiefensehens auf die Konstruktion von VR-Systemen

Hans-Günther Nusseck

Lebenslauf



Hans-Günther Nusseck

VR Produktentwicklung

eyevis GmbH
Hundsschleestraße 23
72766 Reutlingen

Telefon: 07121 433 030
E-Mail: nusseck@eyevis.de

1985-1992	Berufsausbildung zum Gas- und Wasserinstallateur mit anschließender Fortsetzung der Schullaufbahn bis zum Abitur.
1993-1994	Versuchsassistent in der Hamburgischen Schiffbau Versuchsanstalt Abteilung Eistechnik und Kavitation.
1994	Tätigkeit als Programmierer am Max-Planck-Institut für Limnologie in Plön.
1995-2008	Anfänglich neben dem Studium (Physik / Psychologie – beides ohne Abschluss) später dann in fester Anstellung als VR-Systemadministrator am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen.
seit 2009	Produktmanagement und Entwicklung für den Bereich VR und Simulation bei der Firma eyevis GmbH in Reutlingen.

Der Einfluss des Tiefensehens auf die Konstruktion von VR-Systemen

Hans-Günther Nusseck

1. Einleitung

Virtuelle Realitäten finden immer häufiger Einsatz in Forschung, Ausbildung, Training und Simulation. Mit zunehmendem Einsatz und steigender Leistungsfähigkeit der bildgebenden Computersysteme steigt auch die Anforderung an den Realitätsgrad der Darstellungen. Dabei sind die Anforderungen je nach Anwendungsbereich durchaus unterschiedlich. So existiert zum Beispiel für Designstudien im Automobilbereich eine sehr hohe Anforderung an exakte Schattenwirkungen, Reflektionen und Farbtreue. In der Fahr- und Flugsimulation hingegen steht vor allem eine flüssige Simulation im Vordergrund. In der Ausbildung- und Handhabungssimulation ist wiederum eine hochpräzise Interkation und gute Tiefenwirkung das herausragende Kriterium. Die Bandbreite der möglichen Visualisierungs-Technologien (Sichtsysteme) reicht vom einfachen PC-Bildschirm über Datenbrillen bis zu hochaufgelösten Kuppel- oder CAVE Systemen. Die Auswahl eines geeigneten Sichtsystems und die exakte Konstruktionsweise hängen dabei maßgeblich von dem geplanten Anwendungs- und Einsatzbereich ab. Eine wichtige Einflussgröße auf die Planung von VR-Systemen ist der Entfernungsbereich, in dem Objekte in der Simulation dargestellt werden sollen. Dieser lässt sich in drei Hauptbereiche unterteilen: Den unmittelbaren Nahbereich, den Aktions- oder Bewegungsbereich und den Fernbereich. Je nach dem, in welchem Entfernungsbereich die hauptsächlichen Komponenten der Simulation liegen, sind unterschiedliche Displaysysteme mehr oder weniger geeignet. Bei einer falschen Auslegung des Sichtsystems kann es zu Wahrnehmungskonflikten und einer verzerrten oder falschen Wahrnehmung der räumlichen Tiefe kommen. Mit dem Wissen um die Prinzipien des menschlichen Tiefensehens lassen sich Konflikte in der Wahrnehmung bereits im Vorfeld durch eine angepasste Konstruktion und Auslegung des Sichtsystems minimieren.

2. Tiefenwahrnehmung

Das menschliche Sehsystem nutz mehrere unterschiedliche Informationsquellen gleichzeitig um daraus räumliche Tiefe zu berechnen. Es lassen sich dabei ‚monokularen‘ und ‚binokularen‘ Informationskanäle unterscheiden.

2.1. Monokulare Informationen

Monokulare Tiefeninformationen, die zum Beispiel beim Betrachten eine Fotos wahrgenommen werden, geben bereits sehr viel Aufschluss über Entfernungen, Abstände und Größen, ohne das beide Augen verwendet werden müssen. Die gegenseitige Verdeckung von Objekten liefert Informationen darüber, dass sich diese Objekte in unterschiedlichen Tiefenebenen befinden ohne Informationen über die tatsächliche Entfernung zu geben. Erst die relative Größe von Objekten gibt Aufschluss über die Entfernung der Objekte. Diese Einschätzung ist allerdings ungenau, wenn die tatsächliche Größe der Objekte nicht bekannt ist. Wenn aber die Größen der Objekte bekannt sind, so lässt sich eine recht genaue Abschätzung treffen. Der Größenunterschied zwischen zwei Personen auf einem Foto zum Beispiel gibt bereits eine sehr gute Information über den Abstand der Personen zueinander.

Auch Schatten und Helligkeitsverteilungen geben Informationen über Entfernungsunterschiede oder Abstände aber vor allen geben sie Informationen über die Orientierung und Ausrichtung von Objekten.
Parallele Linien, welche sich von dem Betrachter entfernen (zum Beispiel Eisenbahnschienen oder Straßen) konvergieren in der Ferne. Das bedeutet, dass der wahrgenommene Abstand bei größeren Entfernungen geringer wird. Für sehr große Entfernungen ist kein Abstand mehr sichtbar - sie verschmelzen am Fluchtpunkt. Dieser Effekt wird lineare Perspektive genannt. Auch Texturgradienten wie zum Beispiel ein Fliesenmuster, welches mit zunehmendem Betrachtungsabstand kleiner zu werden scheint, erzeugt eine Tiefeninformation.




Abbildung 1: Zwei Beispielbilder mit sehr starken monokularen Tiefeninformationen.

2.2. Binokulare Informationen

Zusätzlich zu den bereits sehr wirksamen monokularen Informationen stehen Informationen durch die Betrachtung mit beiden Augen zur Verfügung (Stereopsis). Da die Augen einen seitlichen Abstand besitzen, sind die Bilder beider Augen leicht verschieden. Aus diesem Unterschied (Querdisparation oder binokulare Disparität) lässt sich ebenfalls Tiefeninformation gewinnen. Wenn ein Betrachter ein Objekt fixiert, so sind beide Augen in der Form ausgerichtet, dass dieses Objekt in beiden Augen mittig (foveal) abgebildet wird, wobei sich die optischen Achsen der Augen in dem Fixationspunkt überschneiden. Das fixierte Objekt weist dann keine Disparität auf. Objekte, welche vor dem fixierten Objekt liegen, weisen eine gekreuzte oder negative Disparität auf. Objekte hinter dem fixierten Objekt weisen eine ungekreuzte oder positive Disparität auf (siehe Abbildung 2).

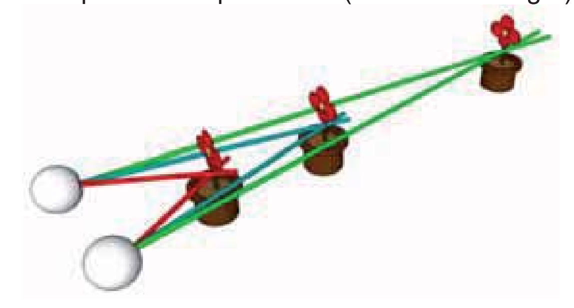


Abbildung 2: Betrachtung eines Objektes mit beiden Augen (blau), näheres Objekt mit gekreuzter Disparität (rot) und entfernteres Objekt mit ungekreuzter Disparität (grün).

Wenn die Disparität zu stark ist (bei großen Entfernungsunterschieden) entsteht oftmals kein Tiefeneindruck, sondern es werden Doppelbilder wahrgenommen. So ist zum Beispiel ein Finger in ca. 0,5m Entfernung vor dem Gesicht nur einmal sichtbar, wenn er fixiert wird, aber doppelt, wenn ein entferntes Objekt dahinter fixiert wird. Bei dem Wechsel der Fixation von einem nahen auf ein entfernteres Objekt ändert sich auch der Winkel, den die Augen einnehmen um das Objekt mit

beiden Augen zu fixieren. Dieser Bewegung wird Konvergenz genannt und beschreibt die gegensinnige Augenbewegung (Vergenz) bei der die optischen Achsen beider Augen im Fixationspunkt zur Überschneidung gebracht werden. Für sehr weit entfernte Objekte sind die optischen Achsen beider Augen nahezu parallel. Der Konvergenzwinkel ist damit Null. Werden nahe Objekte fixiert, so nimmt der Konvergenzwinkel zu.

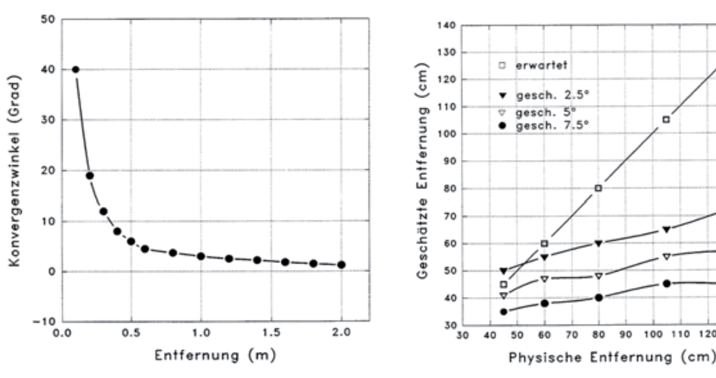


Abbildung 3: Experimentelle Daten zum Konvergenzwinkel in Abhängigkeit der Entfernung (links, nach Arditi 1986) und zur wahrgenommenen Entfernung ohne monokulare Tiefeninformationen (rechts, nach Collett, Schwarz & Sobel 1991).(Aus Guski, 2000)

Abbildung 3 zeigt den Zusammenhang des Konvergenzwinkels und der Entfernung (links, aus Guski, 2000). Es ist deutlich zu erkennen, dass sich der Winkel bei größeren Entfernungen nur gering oder nahezu nicht mehr ändert. Ganz im Gegensatz zum unmittelbaren Nahbereich (<1m) wo sich der Winkel bei Entfernungsänderungen stark ändert. Abbildung 3 rechts zeigt die Daten eines Experimentes bei dem in einer kontrollierten Umgebung alle monokularen Tiefeninformationen ausgeschlossen wurden. Die Versuchspersonen sollten die Entfernung eines dargestellten Objektes schätzen. Die Daten zeigen, dass die Entfernung stets stark unterschätzt wurde. Diese Daten zeigen den zwar geringen aber dennoch vorhandenen Einfluss dieser Informationen auf die Tiefen- und Entfernungswahrnehmung. Neben dem Konvergenzwinkel als Tiefeninformation wird auch die Akkomodation, also die Veränderung der Augenlinse um das Objekt scharf abzubilden, als Tiefeninformation verwendet. Bei dem Wechsel der Betrachtung von einem entferntem zu einem nahen Objekt ändern sich der Konvergenzwinkel und die Akkomodation dabei stets in gleichem Maße.

2.3. Bewegungsinduzierte Informationen

Neben den monokularen und binokularen Informationen gibt es auch Tiefeninformationen, welche aus der eigenen Bewegung oder der Bewegung von Objekten gewonnen werden kann. So erzeugt bereits eine kleine Kopfbewegung zu Seite eine sogenannte Bewegungsparallaxe. Hierbei verändert sich der Abstand der Objekte zueinander oder die Verdeckung verändert sich. Aus diesen Relativbewegungen kann eine zusätzliche und sehr genaue Tiefeninformation gewonnen werden. Auch die Eigenbewegung von Objekten (zum Beispiel Autos auf einer Autobahn oder der Blick aus dem Fenster eines Zuges) und deren wahrgenommenen Unterschiede erzeugen eine Tiefeninformation.

Das Auflösungsvermögen für räumliche Tiefe ist für die einzelnen Informationskanäle zum Teil stark verschieden. Auch die Gewichtung, mit der die menschliche Wahrnehmung Tiefe aus den Informationen berechnet, ist unterschiedlich für verschiedene Entfernungsbereiche. Aus Abbildung 3 links lässt sich erkennen, dass das Auflösungsvermögen der Konvergenz im unmittelbaren Nahbereich sehr gut ist, aber mit der Entfernung abnimmt. Das Gleiche gilt für die Akkomodation. Abbildung 4 zeigt eine Zusammenfassung des Auflösungsvermögens verschiedener

Informationskanäle. So ist zum Beispiel zu erkennen, dass das Auflösungsvermögen der Verdeckungsinformation (occlusion) und der relativen Größe (relative size) über den ganzen Bereich gleichmäßig ist wohingegen die Information der binokularen Disparität (binocular disparities) ab ca. 20m unter die Schwelle für nutzbare Information sinkt.

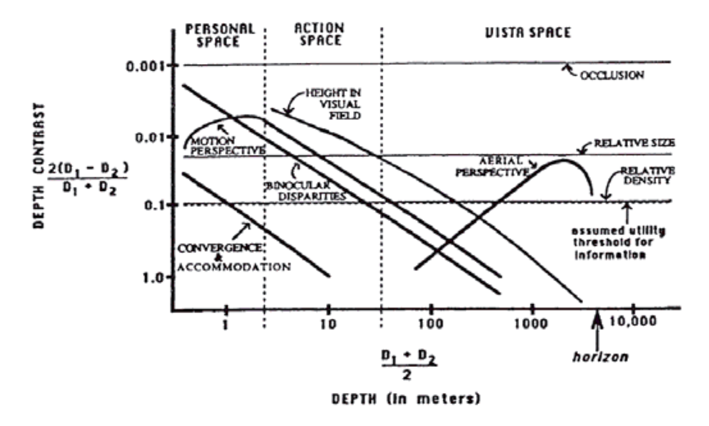


Abbildung 4: Just-discriminable ordinal depth thresholds as a function of the logarithm of distance from the observer, from 0.5 to 10,000 m, for nine sources of information about layout (Cutting, 1997).

3. Konstruktion von VR-Systemen

Aus diesem Wissen über die menschliche Tiefenwahrnehmung lassen sich ein paar Regeln ableiten um mit einem VR-System eine möglichst realistische Wahrnehmung zu erreichen. Generell kann man sagen, dass Konflikte zwischen unterschiedlichen Informationskanälen so weit wie möglich vermieden werden sollten. Ein Konflikt entsteht immer dann, wenn unterschiedliche Informationsquellen unterschiedliche Tiefeninformationen liefern. Außerdem sollten die Informationen so vollständig wie möglich sein. Je mehr plausible und realistische Information zur Verfügung steht, umso realistischer ist der Eindruck. Daher sollten auf jeden Fall alle monokularen Informationen so gut es geht vorhanden sein. Das gilt besonders für Objekte bekannter Größe, Schatten und Beleuchtung sowie Texturgradienten. Mit modernen Grafikcomputern ist dies mittlerweile in nahezu realistischer Qualität möglich. Anders ist es bei den binokularen Tiefeninformationen. Hier hilft zwar ein 3D-Stereosystem diese Information bereit zu stellen, aber es kommt oft zu konfliktbehafteten Darstellungen.



Abbildung 5: Stereodisplay und die nötigen Bildpaare für ein Objekt auf der Bildschirmebene (links), hinter der Bildschirmebene (mitte) und davor (rechts)

Abbildung 5 zeigt einen Stereomonitor und die Bildpaare, welche darauf dargestellt werden müssen um ein Objekt in verschiedenen Tiefenebenen darzustellen. Es ist zu erkennen, dass die Bilder für linkes und rechtes Auge keine Verschiebung aufweisen, wenn das Objekt in der Bildschirmebene erscheinen soll. Die optischen Achsen beider Augen überschneiden sich an dem Punkt auf dem Bildschirm (Konvergenzwinkel). Die Entfernung auf welche die Augen scharf stellen

(Akkomodation) liegt ebenfalls auf der Bildschirmebene. Für die Darstellung des Objektes hinter Bildschirmebene (mittleres Bild) müssen die Bildpaare eine positive Verschiebung aufweisen. Nun liegt der Schnittpunkt der optischen Achsen beider Augen hinter der Bildschirmebene und das Objekt erscheint hinter dem Monitor. Allerdings liegt der Akkomodationspunkt unverändert auf der Bildschirmebene. Dadurch entsteht ein Konflikt, da Konvergenz und Akkomodation nicht mehr stimmig zusammen passen. Das Gleiche gilt für die Darstellung eines Objektes vor dem Monitor: Hier müssen die Bildpaare eine negative Verschiebung aufweisen damit der Schnittpunkt der optischen Achsen beider Augen vor der Bildschirmebene liegt. Auch hier bleibt die Akkomodation allerdings auf der Bildschirmebene und es kommt zu einem Konflikt. Dieser Konflikt ist sehr stark, wenn der Bildschirm sehr nahe am Betrachter steht und Objekte weit dahinter dargestellt werden (Abbildung 6, links). Ebenfalls ein gravierender Konflikt entsteht, wenn versucht wird ein Objekt, welches sich zum Teil außerhalb des Bildbereiches befindet, vor der Bildebene darzustellen (Abbildung 6, rechts). Hier steht die Verdeckungsinformation durch die Bildschirmkante im Konflikt zur Konvergenzinformation.



Abbildung 6: Probleme bei der Verwendung von Stereodisplays: Starker Konflikt zwischen Konvergenz und Akkomodation (links), zu nahe Darstellung eines Objektes (mitte) und Konflikt zwischen Konvergenz und Verdeckung (rechts)

Oftmals fällt einem ungeübten Betrachter die Betrachtung von Objekten, welche vor der Bildebene dargestellt sind schwer. Das liegt zumeist daran, dass die Akkomodation die Entfernung bis zur Bildebene signalisiert und von den Augen zunächst ein dementsprechender Konvergenzwinkel eingestellt wird. Das hat dann in erster Linie die Wahrnehmung von Doppelbildern zur Folge. Nun müssen die Augen nach innen gedreht werden (Schielen) um das Objekt vor der Leinwand wahrzunehmen. Um solche Effekte und Konflikte zu vermeiden sollte der Abstand des Betrachters zum Display entsprechend des darzustellenden Entfernungsbereiches gewählt werden. Für die Darstellung naher Objekte sollte auch das Display nah zu Betrachter gewählt werden. Für die Darstellung weiter entfernter Objekte sollte es auf keinen Fall zu nah am Betrachter stehen. Wenn Objekte vor der Displayebene dargestellt werden sollen, so ist zusätzlich die Bildschirmgröße so zu wählen, dass die Objekte aufgrund der nötigen Verschiebung nicht aus der Bildschirmfläche wandern (Abbildung 6, mitte).

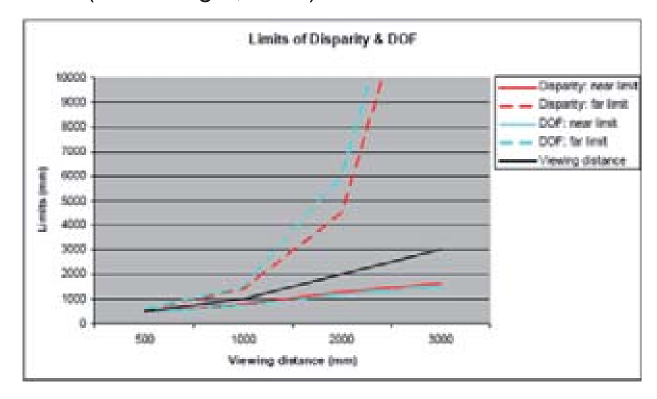


Abbildung 7: Limits of depth of focus (DOF) and binocular disparity for different viewing distances (Lambooij 2007).

Abbildung 7 zeigt die nach Lambooij 2007 möglichen Grenzen für die konfliktfreie Darstellung von Objekten in unterschiedlichen Tiefen bei verschiedenen Betrachtungsabständen. Entlang dieser Werte ist bei einem Anstand von 1m ein Tiefenbereich von 0,75 bis 1,75m ermüdungsfrei möglich. Bei 2m Betrachtungsabstand reicht der Bereich von 1,25m bis 5m. Diese Werte können als Planungsgrundlage für die Auslegung von VR-Systemen herangezogen werden.

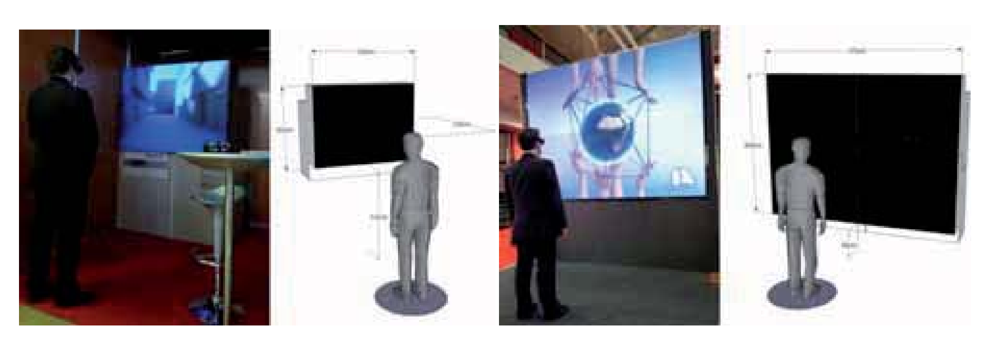


Abbildung 8: Konzept und Umsetzung eines einkanaligen (links) und eines mehrkanaligen (rechts) Stereo-Systems basierend auf eyevis 3D-Rückprojektions-Cubes

Auch in dem Bereich der bewegungsindizierten Tiefeninformationen können Konflikte entstehen, wenn diese von dem VR-System nicht unterstützt werden. Bei einem System ohne Head-Tracking führt eine Kopfbewegung vor dem Display zu keiner Änderung in der Bildinformation. Dadurch fehlt die erwartete Bewegungsparallaxe und es entsteht ein Wahrnehmungskonflikt. Durch die Verwendung eines Head-Trackings kann auch hier der Konflikt vermieden werden und somit ein hochqualitatives und realistisches VR-System konzipiert werden.

4. Literatur

Arditi, A., (1986). Binocular vision. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.) Handbook of perception and human performance (Vol. 1, pp. 23:1 to 23:41). New York: Wiley.

Collett, T. C., Schwarz, U., Sobel, E. C., (1991). The interaction of oculomotor cues and stimulus size in stereoscopic depth constancy. Perception, 20:733–754.

Cours, N. (2004), Wahrnehmungspsychologische Evaluation eines dreidimensionalen Visualisierungssystems. Dissertation Universität Kassel, urn:nbn:de:hebis:34-1560

Cutting, J., (1997) How the eye measures reality and virtual reality .Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 29 (1), 27-36

Guski, R., (2000). Wahrnehmung. Eine Einführung in die Psychologie der menschlichen Informationsaufnahme. Kohlhammer, Stuttgart.

Lambooij, M., IJsselsteijn, W.A., Heynderickx, I. (2007). Stereoscopic displays and visual comfort: a review. SPIE Newsroom, DOI: 10.1117/2.1200702.0648

5. Autor

Hans-Günther Nusseck
VR Produktentwicklung

eyevis GmbH
Hundsschleestraße 23
72766 Reutlingen

Telefon: 07121 433 030
E-Mail: nusseck@eyevis.de

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009

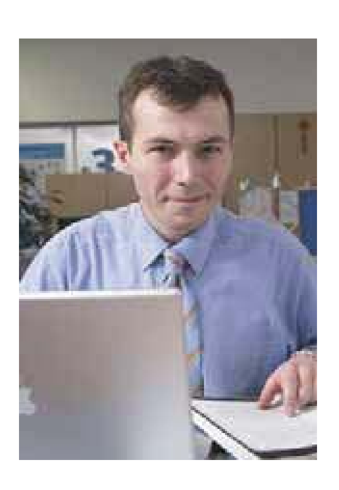


Werkzeuge und Technologien

Kommunikationsserver zur dynamischen Kopplung mechatronischer Systeme an Augmented-Reality-Anwendungen

Dr.-Ing. Rafael Radkowski
Dipl.-Inform. Henning Zabel

Lebenslauf



Dr.-Ing. Rafael Radkowski
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Heinz Nixdorf Institut
Fürstenallee 11
33102 Paderborn

Telefon: 05251 60 6228
E-Mail: rafael.radkowski@hni.upb.de

1998-2003	Maschinenbau Studium an der Universität Paderborn mit Schwerpunkt Produktentwicklung
2003-2006	Stipendiat im Graduiertenkolleg des Heinz Nixdorf Institut „Automatische Konfiguration in offenen Systemen“ in Paderborn
2006	Promotion am Heinz Nixdorf Institut bei Prof. Gausemeier
seit 2006	Post-Doc in der Fachgruppe Produktentstehung bei Prof. Gausemeier, Universität Paderborn

Kommunikationsserver zur dynamischen Kopplung mechatronischer Systeme an Augmented-Reality-Anwendungen

Dr.-Ing. Rafael Radkowski, Dipl.-Inform. Henning Zabel

1. Einleitung

Zukünftige mechatronische Systeme bestehen aus Systemkomponenten mit einer inhärenten Teilintelligenz. Intelligent bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Komponenten ihre Situation erfassen, analysieren und ihr Verhalten optimieren können. Zudem sind die Systeme lernfähig um auch in unbekannten Situationen adäquat zu reagieren.
Zur Absicherung der Funktionen müssen diese Systeme ausgiebige Testphasen durchlaufen. Diese Tests werden mit Hilfe von rechnergestützten Hilfsmitteln analysiert. So erfordert die Anpassung des Verhaltens während der Laufzeit eine geeignete Präsentation der Daten, um den Zusammenhang zwischen Aktion und Reaktion für den Ingenieur zu verdeutlichen und damit die Analyse zu vereinfachen. Ein vielversprechender Ansatz ist die Analyse eines Prototypen in einer Experimentierumgebung mit Hilfe der Technologie Augmented Reality (AR). AR ist eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, die die Wahrnehmung der Realität durch computer-generierte Informationen anreichert [Azu97]. Zur Analyse und Überwachung mechatronischer Systeme können z.B. Zustandsanzeigen oder rechnerinterne Umgebungsmodelle, etc. während des Experiments kontextsensitiv visualisiert werden. Beispiele hierfür sind z.B. in [BMF07], [GS05], [RKK08] oder [RW08] zu finden. Die Visualisierungen haben dabei zwei Aufgaben: Erstens führen sie die Entwickler durch das Experiment. Zweitens vereinfachen sie die Datenanalyse, indem sie auf relevante Ereignisse hinweisen und den Suchraum dadurch eingrenzen.
Voraussetzung für die visuelle Analyse ist die Übertragung von Sensor- und Zustandsdaten des mechatronischen Systems an eine AR-Anwendung. Zu diesem Zweck ist im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 614 „Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus“ der Universität Paderborn der Kommunikationsserver COMMUVIT entstanden. COMMUVIT koordiniert und synchronisiert die Kommunikation zwischen Simulationen, Prüfständen und Visualisierungs-Anwendungen, wie z.B. AR-Anwendungen. Kommunikationsserver oder Simulationsinfrastrukturen mit dem Ziel Simulationen und Visualisierungen zu verbinden wurden bereits in anderen Projekten erfolgreich eingesetzt. Die prominentesten Vertreter sind: SCIRun [PJ95], CavernSoft [PCK+00] und CUMULVS [KPI97]. Diese bieten in der Regel nur die Möglichkeit die Kommunikation zwischen Simulationen, Visualisierungsanwendungen und Geräte zur Steuerung zu koordinieren. In diesem Beitrag wird speziell auf die Problematik der Kommunikation bei der Visualisierung von Daten eines realen mechatronischen Systems mit einer AR-Anwendung eingegangen. Welche Analysemöglichkeiten überhaupt bestehen wurde bereits in [RW08] diskutiert. Zunächst wird die Problematik erläutert, anschließend wird das Funktionsprinzip von COMMUVIT erklärt und ein Anwendungsbeispiel vorgestellt. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick.

2. Problembeschreibung

Für die visuelle Analyse mechatronischer Systeme sowie die Testführung ist eine Übertragung der Daten von einem mechatronischen System zu einer AR-Anwendung notwendig (Bild 1). Hier werden zwei Systeme kombiniert, die sich

nicht nur in ihrem funktionalen Verhalten sondern vor allem in ihrem zeitlichen Verhalten unterscheiden: Mechatronische Systeme arbeiten unter harten Echtzeitbedingungen, AR-Anwendungen und gegebenenfalls weitere Simulatoren unter weichen Echtzeitbedingungen. Für die Analyse der Daten während der Testdurchführung ergeben sich daraus einige Herausforderungen, die im Folgenden beschrieben werden. Die Anforderungen werden in dem Kommunikationsservers COMMUVIT realisiert.

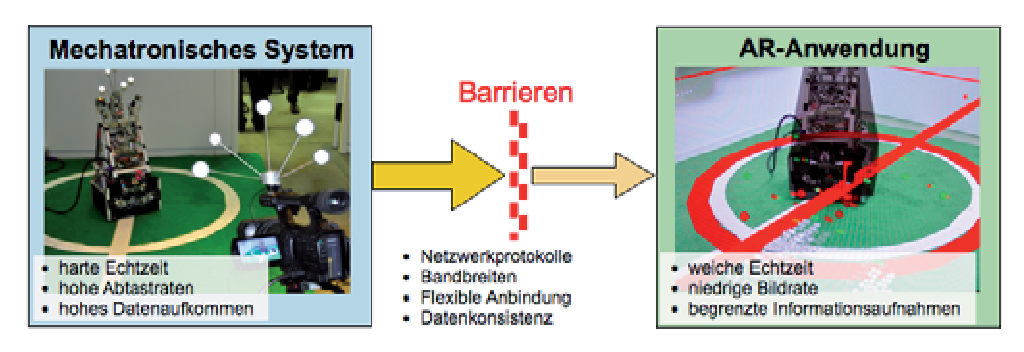


Bild 1: Die visuelle Analyse mechatronischer Systemen erfordert eine Übertragung relevanter Daten

Datenkonsistenz: Eine wesentliche Herausforderung ist, Daten unterschiedlicher Systeme, die logisch zusammengehören auch zusammen zu visualisieren. Wird dies nicht sichergestellt ist eine Analyse des mechatronischen Systems in der Regel nicht möglich. Ein Kommunikations-Server muss sicherstellen, dass zusammengehörende Daten aus unterschiedlichen Quellen zeitgleich zusammen übertragen werden.
Datenvermittlung: An einem Experiment sind in der Regel mehr als nur ein mechatronisches System und eine AR-Anwendung beteiligt. Tracking-Systeme, Geräte zur Steuerung, etc. werden in der Regel als Hilfsmittel benötigt. Dadurch entstehen potentiell n-zu-n Verbindungen, die von einem Kommunikations-Server verwaltet werden müssen und dessen Datenaustausch koordiniert werden muss.
Dynamische An-/Abmeldung: Die visuelle Analyse und Steuerung eines Experiments bietet dem Entwickler erweiterte Kontrollmöglichkeiten. Dadurch kann er ein Experiment zur Laufzeit anpassen. Eine Folge ist, dass sich der Fokus der Untersuchung auf ein anderes Teilobjekt verlagern oder sogar die Anzahl der zu untersuchenden Komponenten dynamisch zur Laufzeit ändern kann. Ein Kommunikations-Server muss deshalb die dynamische An- und Abmeldung einzelner Komponenten (Clients) ermöglichen.
Protokollübergreifender Datenaustausch: Verteilte mechatronische Systeme kommunizieren über CAN-Busse oder andere echtzeitfähige Feldbus-Systeme. Im Unterschied dazu findet die Kommunikation zwischen PCs bzw. den darauf ausgeführten Anwendungen weitestgehend über Ethernet mittels TCP/IP oder UDP statt. Ethernet-Netzwerke und CAN-Busnetzwerke sind nicht kompatibel. Der Server muss deshalb Schnittstellen zu allen relevanten Kommunikations-Protokollen anbieten.
Anpassung von Abtastraten: Mechatronische Systeme haben eine weitaus höhere Abtastrate als AR-Anwendungen. Stellt eine AR-Anwendung nur ca. 30 Bilder pro Sekunden dar, so berechnen bzw. messen mechatronische Systeme die zu verarbeitenden Daten im Bereich zwischen 100Hz bis 3000Hz. In der Regel wird ein Datensatz pro Schritt erzeugt, der über das Bus-System an eine Visualisierungs-Anwendung gesendet wird. Diese kann die hohen Raten nicht verarbeiten und nicht visualisieren. Deshalb müssen mehrer Mechanismen zur Übertragung zur Verfügung stehen.
Minimale Netzwerkauslastung: Da Netzwerkbandbreiten limitiert sind, dürfen keine Daten neu verschickt werden, die sich während eines Zeitschrittes nicht verändert haben.

Begrenzte Kontrollmöglichkeiten / Fehlererkennung: Eine wesentliche Herausforderung sind die begrenzten Möglichkeiten zur Kontrolle der Kommunikation und des Programmablaufs eines mechatronischen Systems. Diese Arbeiten unter harten Echtzeitbedingungen. Die Programmausführung anzuhalten, um z.B. Fehler zu korrigieren oder auf eine Visualisierung zu warten ist nicht möglich. Fehler bei der Datenübertragung müssen deshalb erkannt und fehlerhafte Daten verworfen werden.
Einfache Handhabung: Ein Kommunikations-Server ist für den Entwicklungs-Ingenieur lediglich ein Mittel zum Zweck der visuellen Analyse. Diese soll möglichst einfach zu bedienen sein und selbstständig arbeiten.

3. COMMUVIT

Die Hauptaufgabe von COMMUVIT ist Daten zwischen unterschiedlichen Komponenten der Experimentierumgebung auszutauschen (Bild 2). Eine Komponente kann ein Simulator, eine Anwendung zur Visualisierung von Daten, eine realer Prototyp aber auch Geräte zur Steuerung sowie Tracking-Systeme sein. COMMUVIT behandelt jede Komponente als gleichwertigen Client, der sowohl Daten erzeugen als auch Daten abfragen kann.

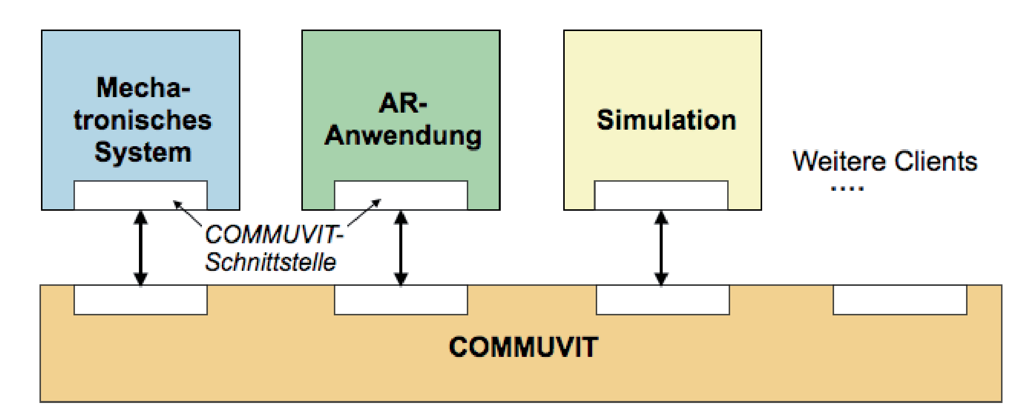


Bild 2: Schematische Darstellung einer Experimentier-Umgebung mit Kommunikation über COMMUVIT

Jeder COMMUVIT-Client wird über eine COMMUVIT-Schnittstelle mit dem Kommunikations-Server verbunden. Eine Schnittstelle muss dazu einmal für jede Komponente (z.B. Simulation mit Matlab/Simulink oder SystemC) umgesetzt werden und kann in der Regel wiederverwendet werden.

3.1 Funktionsprinzip

COMMUVIT in drei Teile unterteilt:

- Eine Variablen-Tabelle (MAP). Diese Tabelle speichert während der Ausführung alle Daten, die zwischen den Komponenten ausgetauscht werden und die Zuordnung von Eingangsdaten zu Ausgangsdaten.
- Einen Kommunikations-Prozess für jede angeschlossene Komponente, der die eigentliche Kommunikation mit der Komponente (dem Client) durchführt.
- Einem Master-Prozess, der die Zeit überwacht und die Kommunikation koordiniert.

Kern von COMMUVIT ist die Variablen-Tabelle (MAP), in der jedes Datum gespeichert wird. Zur eindeutigen Identifikation trägt jeder Wert einen eindeutigen Bezeichner. Der Bezeichner setzt sich aus dem Namen der Komponente, die das

Datum zur Verfügung stellt, und einem eindeutigen Namen, der das Datum selbst innerhalb der Komponente kennzeichnet, zusammen.

NAME_CLIENT.NAME_WERT

Der Name des Clients wird bei der Anmeldung an COMMUVIT übergeben. Der Name des Datums wird vom Anwender für jeden Wert eindeutig festgelegt. Das Datum lässt sich damit innerhalb von COMMUVIT eindeutig einer Komponente zuordnen.

Die Kommunikationsprozesse verwalten eine Liste, die eine Zuordnung der Daten der Komponente zu den Einträgen der Variablen-Tabelle enthält (Schreib/Lese-Tabelle). Die Tabellen werden bei der Anmeldung der Komponente an COMMUVIT erstellt. Dazu werden die von der Komponente angebotenen (write) und benötigten (read) Daten abgefragt und Referenzen zu der Variablen-Tabelle (MAP) erstellt. Die Kommunikationsprozesse führen anhand der erstellten Schreib/Lese Tabellen den Datenaustausch zwischen der Komponente und der Variablen-Tabelle durch.

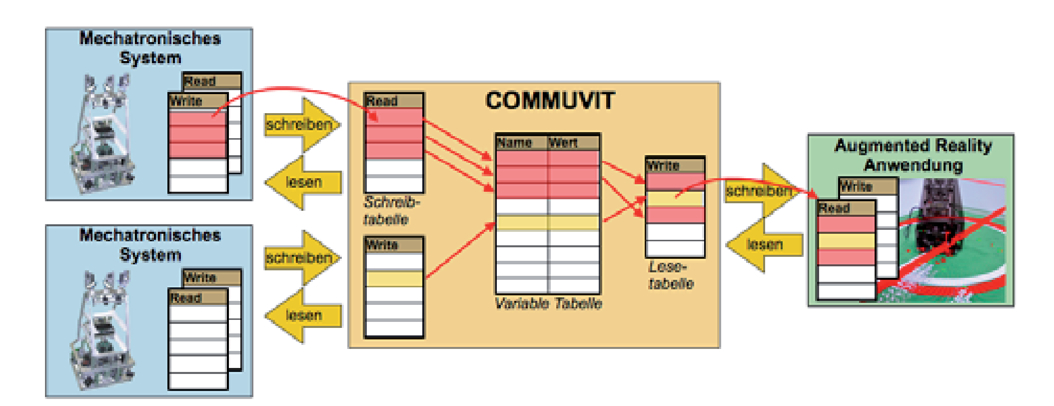


Bild 3: Funktionsprinzip von COMMUVIT

Die Koordinierung aller Kommunikationsprozesse erfolgt durch den Master-Prozess. Dieser verwaltet eine globale Uhr, über die die Komponenten zeitlich synchronisiert werden. Für die Kommunikation mit mechatronischen Systemen, d.h. den Prüfständen, definiert diese Uhr ein Zeitfenster, in dem Daten empfangen und gesendet werden müssen.

Der Master-Prozess unterteilt die Zeit in äquidistante Zeitintervalle □t. Für jeden Zeitschritt werden die folgenden Teilschritte durchgeführt:

1. Schreiben aller Daten aus der Variablen-Tabelle zu den jeweiligen Komponenten
2. Inkrementieren der Zeit um das Zeitintervall Δt.
3. Warten, bis alle Komponenten ihre Berechnungen durchgeführt haben
4. Lesen der Daten von den Komponenten und zurückschreiben in die Variablen-Tabelle

Jeder Teilschritt wird dabei Synchron ausgeführt, d.h. der Master-Prozess initiiert die Durchführung eines Teilschrittes durch die Kommunikations-Prozesse und wartet auf deren Fertigstellung. Anschließend wird der nächste Teilschritt durchgeführt.

3.2 Konsistente Datenübertragung/Synchronisation

Die wichtigste Anforderung an den Kommunikations-Server ist die synchrone Datenübertragung. Dadurch wird eine konsistente Visualisierung der Daten gewährleistet. Die Komponenten, die in Software realisiert sind, z.B. Simulationen und Visualisierungen, werden auf einem PC unter weichen Echtzeitbedingungen ausgeführt. Die Prüfstände der mechatronischen Systeme arbeiten hingegen mit harten Echtzeitbedingungen. Eine gebräuchliche Lösung, um Echtzeitsysteme mit

Nicht-Echtzeitsystemen zu koppeln ist die Verwendung eines Ringspeichers als Puffer. Dieser ermöglicht es, nahezu alle anfallenden Daten zu beobachten. Durch die Pufferung sind diese Daten allerdings nicht mehr konsistent, d.h. die Daten lassen sich nicht mehr mit der Analyseumgebung basierend auf AR synchronisieren. Das ist eine Einschränkung der Analysemöglichkeiten. Dabei wird angenommen, dass Daten, die zum annähernd gleichen Zeitpunkt erstellt worden sind auch logisch zusammengehören.
COMMUVIT verwendet zwei Prinzipien zur Synchronisation der Kommunikation: Simulationen und Visualisierungs-Anwendungen werden gezwungen nach einer globalen Uhr zu laufen. Dies wird durch die oben beschriebene Zerlegung der Zeit und die Ausführung durch die vier Teilschritte erreicht. Das Vorgehen entspricht der Synchronisation mit Barrieren. Zudem erhält jedes Datum einen Zeitstempel. Reale mechatronische Systeme können nicht gezwungen werden, nach einer globalen Uhr zu laufen, da dadurch deren Echtzeitbedingungen verletzt werden. Deren Kommunikation arbeitet nach dem Push-Prinzip. Datenkonsistenz kann hier nur durch Erkennung inkonsistenter Daten gewährleistet werden. Hierfür werden Zeitstempel und Zeitfenster genutzt. Bild 4 zeigt schematisch, wie die konsistente Übertragung der Daten sichergestellt wird.

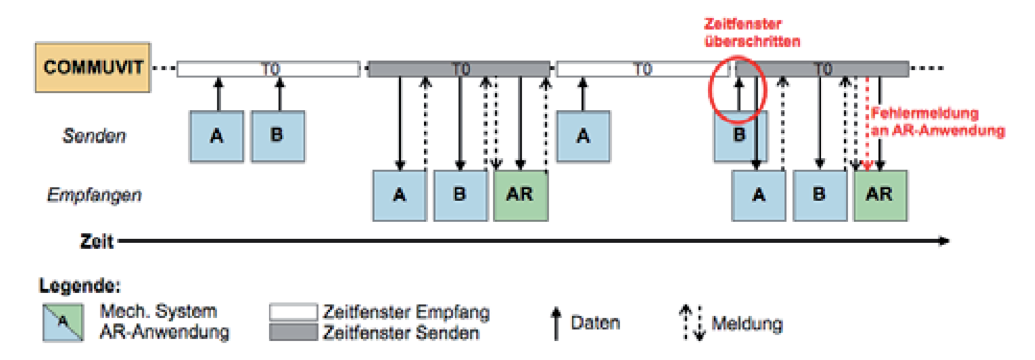


Bild 4: Zeitfenster und Zeitstempel ermöglichen eine synchrone Datenübertragung und sind Voraussetzung für konsistente Daten.

COMMUVIT definiert für jeden Kommunikations-Schritt ein Zeitfenster, indem alle Komponenten ihre Daten an den Server senden müssen. Von mechatronischen Systemen wird erwartet, dass sie innerhalb dieses Zeitfensters alle ihre Daten übertragen, bzw. nur diese Daten werden als gültig akzeptiert. Visualisierungs-Anwendungen und Simulationen sind bereits durch die Barrieren synchronisiert. Für deren Datenaustausch werden dieselben Zeitfenster in COMMUVIT definiert. Die Zeitfenster werden durchgehend überwacht. Wird ein Zeitfenster überschritten, wird dies erkannt. Die entsprechenden Daten werden als „fehlerhaft“ markiert. Zusätzlich wird eine Fehlermeldung an die AR-Anwendung übermittelt. Diese kann die Daten entweder komplett verwerfen oder dem Anwender mitteilen, dass die Analyse auf Basis unsicherer Daten erfolgt.

3.3 An- und Abmelden

Unterschiedliche Experimente erzeugen unterschiedliche Daten. Hierfür ist es notwendig, dass ein mechatronisches System flexibel unterschiedliche Daten anmelden, d.h. anbieten, kann und einer AR-Anwendung die benötigten Daten abfragen kann. COMMUVIT bietet hierfür Funktionen zum An- und Abmelden einzelner Komponenten (Clients) und Daten (Bild 5).
Eine Komponente, die Daten erzeugt, wird als Producer bezeichnet. Sie meldet sich zunächst mit einem eindeutigen Namen an COMMUVIT an und gibt Zugriff auf die Liste mit allen lesbaren Daten der Komponente. Auch diese sind im einen eindeutigen Namen gekennzeichnet. COMMUVIT legt für jedes Datum eine Referenz auf die Variablen-Tabelle an. Eine Komponente, die auf diese Daten

zugreifen möchte, wird als Consumer bezeichnet. Eine Komponente kann sowohl Consumer als auch Producer sein.
Ein Consumer kann durch eine Anfrage an COMMUVIT die Übertragung von einem oder mehren Daten anfordern (subscribe). COMMUVIT erstellt aus der Anfrage eine Schreib-Tabelle für die entsprechende Komponente und stellt eine Referenz zur Variablen-Tabelle her. Ein Consumer muss dafür den Namen der Komponente, von der die Daten bezogen werden sollen, und den Namen der Variable selbst kennen. COMMUVIT selbst veröffentlicht keine Liste mit den Namen Variablen- und Komponenten.

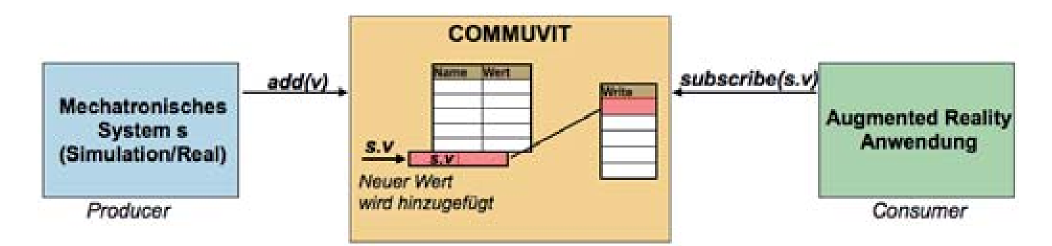


Bild 5: Prinzip des An- und Abmelden einzelner Daten

Wenn ein Consumer eine Variable anfragt, legt COMMUVIT, unabhängig davon ob es bereits einen entsprechenden Producer gibt, einen Eintrag in der Variable-Tabelle an. Sollte es keinen Producer geben, wird dies entsprechend markiert und der entsprechende Wert wird bei der Kommunikation nicht berücksichtigt. Die Übertragung wird automatisch etabliert, sobald sich ein passender Producer anmeldet. Die Anforderung (subscribe) eines Datums abzuweisen ist hier nicht sinnvoll, da die Reihenfolge, in der die Systeme aktiviert werden, nicht vorgegeben werden kann. Die Reihenfolge ergibt sich aus der Abhängigkeit der Daten. Bei der geforderten Dynamik des Systems würde das zu ständig neuen Reihenfolgen führen und die Handhabung des Servers unnötig erschweren. Bei zyklischen Abhängigkeiten lässt sich diese Reihenfolge zudem nicht bestimmen und würde somit den Nutzen von COMMUVIT einschränken.

4. Anwendungsbeispiel

COMMUVIT wurde bereits erfolgreich in mehreren Fallstudien des Sonderforschungsbereichs 614 eingesetzt (z.B. [RZR08], [GBR+08]). Am Beispiel der Analyse der Paderkicker (Bild 6) wird die Funktionsweise von COMMUVIT erläutert. Die Paderkicker sind ein Team von autonomen Robotern mit der Aufgabe Fußball zu spielen. Sie werden am C-LAB der Universität Paderborn entwickelt. Jeder Roboter ist ein autonomes mechatronisches System, dass sich mit Hilfe von Kameras und Odometriedaten selbstständig auf einem Spielfeld orientieren muss. Über die Kameras werden neben der eigenen Position auch andere „Kicker", die Gegner und der Ball lokalisiert. Die Positionsberechnung erfolgt mit Hilfe von Partikelfiltern. Ein Partikel beschreibt eine mögliche Position (des Roboters oder Balls) und wird mit den aktuellen Umgebungsdaten verglichen. Je nach Abweichung wird diesem Partikel eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet. Die Menge aller Partikel entspricht somit der Wahrscheinlichkeitsberteilung der möglichen Positionen. Auf Basis dieser Daten muss jeder Roboter eigenständig Spielzüge planen und durchführen. Das Ziel ist selbstverständlich, den Ball in das gegnerische Tor zu befördern.
Zur Analyse des Verhaltens ist eine AR-Anwendung erstellt worden, die die ermittelte Position des Paderkickers oder interne Umgebungsmodelle visualisiert. Die notwendigen Daten werden vom Paderkicker über COMMUVIT an die AR-Anwendung übertragen. Augmentiert werden hier die Spielfeldlinien aus Sicht des Roboters. Ziel der Analyse ist die Parametrisierung des Roboters soweit zu

verbessern, dass die augmentierten Linien mit den echten Linien des Spielfeldes übereinstimmen.

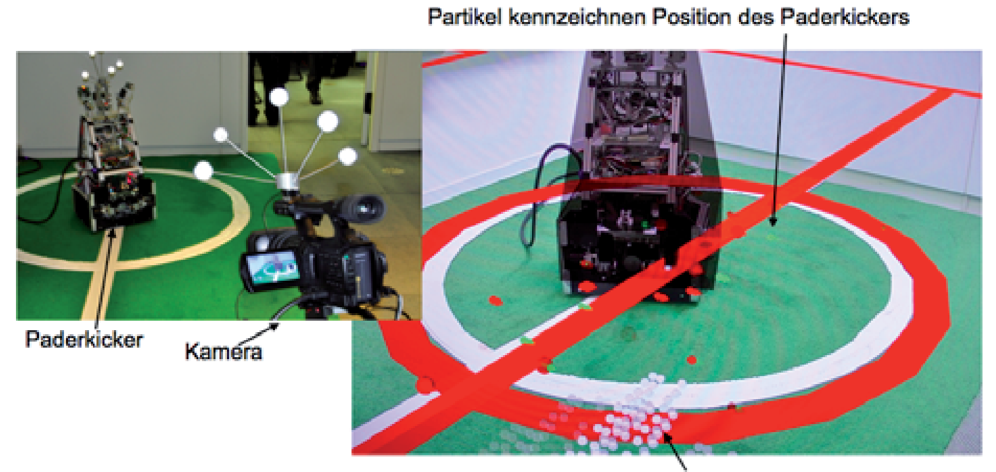


Bild 6: AR zur visuellen Analyse von autonomen Fußballrobotern

Da ein Paderkicker Team aus vier Fußballrobotern besteht müssen während eines Spiels unterschiedliche Roboter analysiert werden. COMMUVIT ermöglicht es, zwischen den Robotern zu wechseln, ohne das ein Experiment abgebrochen werden muss.

5. Ausblick

COMMUVIT hat sich bisher als sinnvolles Werkzeug erwiesen, um die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Komponenten zu erstellen und zu koordinieren. In Zukunft steht im Focus, weitere Möglichkeiten zur Kommunikation zu integrieren. Bisher werden Daten lediglich zeitsynchron übertragen. Schnelle transiente Vorgänge können aber nur asynchron übertragen gespeichert und übertragen werden. Hierfür soll eine download-Funktion angeboten werden. COMMUVIT sammelt dazu die Daten zeitsynchron oder asynchron, speichert sie und bietet sie anschließend als Paket an.
Zudem soll ein Verzeichnisdienst angeboten werden, in der alle angeschlossenen Komponenten und deren angeboten Daten verzeichnet sind. Diese Liste kann dann direkt von AR-Anwendung oder andere Anwendungen zur Visualisierung verwendet werden.

6. Literatur

[Azu97] Azuma, Ronald: A Survey of Augmented Reality, 1997, In Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6.

[BMF07] Bock, T.; Maurer, M.; Färber, G., 2007, June 13-15, Validation of the Vehicle in the Loop (VIL), In Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Istanbul, Turkey.

[GBR+08] Gausemeier, J, Böcker, J., Radkowski, R., Waßmann, H. Henke, C., 2008, Anwendung von Augmented Reality zur Visuellen Analyse einer Konvoi-Simulation am Beispiel der Neuen Bahntechnik Paderborn, In Proc. of Simulation und Visualisierung, 28.-29. Feb. 2008, Magdeburg.

[GS05] Göktogan, A., H., Sukkarieh, S., 2005, An Augmented Reality System for Multi-UAV Missions, In Proc. of SimTecT 2005, Syndey, Australien.

[PCK+00] Park, K., Cho, Y., Krishnaprasad, N.K., Scharver, C, Lewis, M.J., Leigh, J, Johnson, A. E., 2000, CAVERNsoft G2: A toolkit for high

performance teleimmersive collaboration, In Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST00), ACM Press.

[PJ95] Parker, S.G., Johnson, C.R., 1995, SCIRun: A scientific programming environment for computational steering, In Proceedings of Supercomputing ’95 ACM/IEEE.

[KPI97] Kohl, J. A., Papdopoulos, P. M., II, G. A. G., 1997, CUMULVS: Collaborative infrastructure for developing distributed simulations, In PPSC SIAM.

[RKK06] Richert, W., Kleinjohann, B., Koch, M., Bruder, A., Rose, S., Adelt, P., 2006, The paderkicker team: Autonomy in realtime environments, In Proceedings of the Working Conference on Distributed and Parallel Embedded Systems (DIPES 2006).

[RW08] Radkowski, Rafael, Waßmann, Helene, 2008, Augmented Reality-based Approach for the Visual Analysis of Intelligent Mechatronic Systems, In IDETC/CIE 2008, ASME 2008 Design Engineering Technical Conference & Computer and Information in Engineering Conference, New York, USA.

[RZR08] Radkowski, R., Zabel, H., Richert, W., Adelt, P., 2008, Augmented Reality-based behavior-Analysis of Autonomous Robotic Soccers, In Guimaraes, Nuno, Isaias, Pedro, IADIS International Conference of Applied Computation, Algarve, Portugal.

7. Autoren

Dr.-Ing. Rafael Radkowski
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Heinz-Nixdorf-Institut
Fachgebiet Produktentstehung
Fürstenalle 11
33102 Paderborn

Telefon: 05251 606 228
Telefax: 05251 606 268
E-Mail: rafael.radkowski@hni.uni-paderborn.de

Dipl.-Inform. Henning Zabel
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Universität Paderborn
Fachgruppe Entwurf paralleler Systeme
C-LAB
Fürstenallee 11
33102 Paderborn

Telefon: 05251 606 125
Telefax: 05251 606 066
E-Mail: henning@c-lab.de

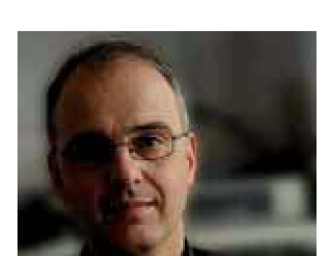


Werkzeuge und Technologien

Integration von Real-time Raytracing in interaktive Virtual-Reality-Systeme

Dr. sc. nat. Hilko Hoffmann
Dipl.-Inform. Dmitri Rubinstein
M. Sc. Alexander Löffler
Prof. Dr.-Ing. Philipp Slusallek

Lebenslauf



Dr. sc. nat. Hilko Hoffmann

Leiter der Gruppe Simulated Reality

Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz, DFKI
Stuhlsatzenhausweg 3
66123 Saarbrücken

Telefon: 0681 302 3832
E-Mail: hilko.hoffmann@dfki.de

1987 - 1995	Studium der angewandten physischen Geographie an der Universität Trier, danach u.a. wissenschafticher Mitarbeiter beim Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR), Remote Sensing Data Center
1995 - 2000	Promotion und wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Zürich, Remote Sensing Laboratories, Landscape Visualisation Group
2001 - 2008	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Competence Center Virtual Environments, Stuttgart
Seit 2008	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Forschungszentrum für künstliche Intelligenz, Agents and Simulated Reality, Saarbrücken

Integration von Real-time Raytracing in interaktive Virtual-Reality-Systeme

Dr. sc. nat. Hilko Hoffmann, Dipl.-Inform. Dmitri Rubinstein, M. Sc. Alexander Löffler, Prof. Dr. Philipp Slusallek

Abstract

Aktuelle Computerprozessoren integrieren auf einem Chip in jeder neuen Generation mehr und mehr Rechenkerne mit vergleichsweise moderaten Taktraten. Die gewünschten Leistungssteigerungen werden bei diesem neuen Ansatz anstelle immer höherer Taktraten mit Parallelisierung der Berechnungen realisiert. Dies gilt sowohl für moderne Hauptprozessoren (Multi-core CPUs), als auch in noch deutlich stärkerem Maße für aktuelle Grafikprozessoren (Many-core GPUs). GPUs sind heute mit Hersteller spezifischen Sprachen, wie z.B. NVIDIAs „CUDA“, weitgehend programmierbar und machen eine enorme, bisher Supercomputern vorbehaltene, Rechenleistung auf handelsüblichen Arbeitsplatzrechnern verfügbar. Intel geht mit dem angekündigten Many-core „Larrabee“ noch einen Schritt weiter und versucht Multi-core CPU und GPU Konzepte in einem flexibel programmierbaren Prozessor zu vereinen. „Larrabee“ bildet im Gegensatz zu aktueller Grafikhardware sogar die gesamten Bildberechnungen (Rendering) in Software ab. Echtzeit Grafikanwendungen, wie z.B. Computerspiele und Visualisierungssysteme, profitieren von dieser Entwicklung, weil nun die Bild- und Effektberechnung nicht mehr durch die relativ starren Abläufe auf spezialisierter Grafikhardware vorgegeben wird, sondern in flexibel gestaltbarer Software realisiert werden kann.
In diesem Beitrag wird ein hochparalleles System, bestehend aus der vollständig neu entwickelten Echtzeit-Raytracing-Engine „RTfact“ und dem Echtzeit-Szenengraphen „RTSG“, beschrieben, das die Konzepte und die vielen Rechenkerne der neue Hardware möglichst optimal nutzt. Das System beschleunigt die Bildberechnung mit dem Raytracing-Verfahren soweit, dass es für interaktive Virtual-Reality-Anwendungen eingesetzt werden kann. RTSG erlaubt eine abstrakte Beschreibung der darzustellenden virtuellen Welt auf Basis des X3D-Standards, um die Austauschbarkeit von Daten und Objektverhalten sicherzustellen. RTSG bildet die Schnittstelle zwischen der Visualisierungsanwendung bzw. einem Virtual-Reality-System und verschiedenen Rendering-Modulen. Das Design von RTSG erlaubt es, alternativ zu RTfact auch die klassische Rasterisierung mittels „OGRE“ zur Bildberechnung zu verwenden. RTSG ist derzeit einer der schnellsten verfügbaren X3D-Browser.
In industriellen Virtual-Reality-Anwendungen kann das hier vorgestellte System Konstruktions- und Designentscheidungen anhand virtueller Modelle durch die erreichbare Bildqualität, den erreichbaren visuellen Realismus, sowie den Detaillierungsgrad der interaktiv visualisierbaren, virtuellen Modelle maßgeblich unterstützen.

Keywords:
Real-Time Raytracing, Echtzeit Raytracing, Virtual Reality System, Szenengraphen, X3D, Many-core CPU, Many-core GPU

1. Einführung

Ein Einsatzgebiet für Virtual-Reality- (VR) Anwendungen ist die räumliche Darstellung von virtuellen Welten zur visuellen Entscheidungsunterstützung in Design, Produktentwicklung sowie für Projekt- und Architekturvisualisierungen. Zur effizienten Beurteilung der späteren, realen visuellen Objekteigenschaften ist die möglichst korrekte und reproduzierbare Wiedergabe von Materialien, Rauhigkeit, Farbe, Helligkeit und Kontrast notwendig. Die physikalisch möglichst korrekte und variable Simulation der allgemeinen Beleuchtung sowie einzelner Lichtquellen unterstützt dabei die zuverlässige Beurteilung von Objekteigenschaften.

Aktuelle VR-Systeme nutzen klassische Grafikkarten zur Bilderzeugung. Im Gegensatz zu Computerspielen, die für Entwicklung und Optimierung von Performance und visueller Qualität mehrere Mannjahre aufwenden, müssen virtuelle Welten in VR-Anwendungen möglichst ganz ohne Nachbearbeitung und manuelle Optimierung auskommen. Dennoch sollen die resultierenden Visualisierungen von hoher visueller Qualität sein sowie Beleuchtung und Objekteigenschaften physikalisch möglichst korrekt simulieren. Das auf hoch optimierter Grafikhardware implementierte Rasterisierungsverfahren kommt bei diesen Anforderungen an seine Grenzen, denn neben dem Vorteil der äußerst schnellen Bildberechnung (Rendering) hat dieses Prinzip einige wichtige Nachteile. Die starre Grafikpipeline (Möller und Haines, 2002) erlaubt keine flexible Nutzung alternativer Verfahren zur Bild- bzw. Effektberechnung. Die eingesetzten Verfahren orientieren sich an der Wirkung der visuellen Effekte und nicht an deren physikalisch korrekter Simulation. Durch die zunehmend nachgefragte Simulation qualitativ hochwertiger Effekte wächst die Komplexität des Programmcode und die benötigte Rechenzeit. Ein gutes Beispiel ist hierfür die NVIDIA „Medusa“ Demo (Golem, 2008), in der pro Bild bis zu 120 nacheinander ausgeführte Berechnungsdurchgänge nötig sind.





Abbildung 1 Raytracing realistischer Spiegelungen in Glas- und Lackflächen (Quelle: UdS)

Das Echtzeit-Raytracing (Wald, 2001) ist eine alternatives Verfahren zur Rasterisierung. Erweiterungen des Verfahrens dienen der physikalisch korrekten Berechnung der Szenenbeleuchtung, Reflexionen, weichen Schatten, dynamischen Lichtquellen, etc. Die resultierenden Bildergebnisse haben eine hohe visuelle Qualität und sind von einem Foto der realen Welt kaum mehr zu unterscheiden (Abbildung 1). Raytracing ist jedoch ein rechenintensives Verfahren, für das noch keine breit verfügbare, hoch optimierte Grafikhardware verfügbar ist.

2. Die Echtzeit-Raytracing Engine „RTfact“

Moderne Multi-core Prozessoren mit ihren vielen Rechenkernen sowie die Einführung von SIMD- (Single Instruction Multiple Data) Prozessorarchitekturen eignen sich hervorragend zur Beschleunigung von Raytracing. Neue Ansätze

ersetzen die starre, in Hardware abgebildete Grafikpipeline durch frei programmierbare Hardware, so dass alternative Methoden zur Bildberechnung und für visuelle Effekte möglich werden.
SIMD-Architekturen sind besonders dann schnell, wenn gleichzeitig viele ähnliche Berechnungen durchgeführt werden. Diese Eigenschaft lässt sich nutzen, um Raytracing zu beschleunigen. Statt nur einen Strahl zu verfolgen, wird ein ganzes Strahlenpaket auf einmal berechnet, weil die Berechnungsschritte sehr ähnlich sind. Allerdings ist die Implementierung solcher Paket-basierten Raytracer nicht so trivial wie bei einzelnen Strahlen. Das Problem liegt darin, dass auch die modernen C/C++-Compiler den Standard-C/C++-Code noch nicht automatisch in SIMD-Befehle umsetzen können. Man muss vielmehr im Programmcode CPU-Architektur spezifische SIMD-Befehle angeben. Ein so implementierter Raytracer ist durchaus sehr schnell, aber unflexibel, schwer erweiterbar und kaum portierbar. Andere, auf Flexibilität ausgelegte, Ansätze verwenden objektorientierte Schnittstellen und externe Programmierbibliotheken, haben aber signifikante Performancenachteile. Die neu entwickelte Raytracing Engine „RTfact" (Georgiev, 2008) hat das Ziel, maximale Performance auf modernen CPUs und GPUs anzubieten, ohne auf Flexibilität zu verzichten. RTfact ist kein komplettes Raytracing-System sondern eine Prototypen-Bibliothek, die Bausteine für das Erstellen eigener, optimal angepasster Raytracer bietet. Durch die Verwendung der generischen C++ Template-Programmierung kombiniert die Bibliothek die Performance von modernen Echtzeit-Raytracing-Algorithmen mit der Flexibilität von langsameren Systemen. Die Algorithmen, die die Raytracing Datenstrukturen aufbauen bzw. nutzen, sind in diesem Ansatz von der konkreten Repräsentation der Daten getrennt. Allerdings ist dieses Design, welches sich an die Konzepte der C++-Bibliotheken von STL und boost anlehnt, keine binäre Raytracing Programmierbibliothek im traditionellem Sinne. Vielmehr baut man sich seinen spezifischen Raytracer aus einzelnen, Template-basierten Komponenten zusammen, die dann von dem Architektur-spezifischen Compiler optimiert werden. Folglich muss bei jeder Änderung an den einzelnen Komponenten der Raytracer zusammen mit der Anwendung neu kompiliert werden. Um dieses Problem abzumildern, gibt es eine RTfact basierte, vorkompilierte Raytracing-Bibliothek die eine binäre Programmierschnittstelle bereitstellt und die meisten Anwendungsfälle abdeckt. Sollte der Benutzer mehr Funktionalität benötigen kann er entweder die Bibliothek erweitern oder eine eigene implementieren.

3. Der Raytracing Szenengraph „RTSG"

Die Raytracing-Engine „RTfact" bietet eine vergleichbare Funktionalität wie die Programmierschnittstellen OpenGL und DirectX. Allerdings verwendet die Mehrzahl an Anwendungen, wie z.B. auch die meisten VR-Systeme, solche Schnittstellen nicht direkt, sondern nutzen das nächst höhere Abstraktionsniveau, den so genannten Szenengraphen. Szenengraphen erlauben, die Elemente der Szene (z.B. geometrische Objekte, Lichtquellen, Kameras, Sensoren, etc.) zu benutzen, anstatt direkt mit geometrischen Primitiven zu arbeiten. Für OpenGL existieren eine Reihe von Szenengraphen-Bibliotheken, wie z.B. OpenSceneGraph (Kuehne et al., 2007) oder OpenInventor (Wernecke, 1994).

Die erheblichen Unterschiede in der Bildberechnung mit OpenGL bzw. mit RTfact verhindern aber die einfache Integration von RTfact in einen existierenden Szenengraphen. Das resultierende System wäre für die Echtzeitvisualisierung zu ineffizient und langsam (Dietrich, 2004). Deshalb musste der auf Raytracing abgestimmte Szenengraph „RTSG – Real-Time Scene Graph" entwickelt werden. RTSG verwendet den ISO-Standard „X3D" (Kloss et al., 2009). Die aktuelle Implementierung nutzt als Rendering-Engine RTfact sowie alternativ die „Object-Oriented Graphics Rendering Engine (OGRE)" (Junker, 2006) welche die Bilderzeugung mit OpenGL und DirectX unterstützt. Die Programmierschnittstelle

von RTSG basiert auf dem „X3D Scene Access Interface“ (SAI) und ist vollkommen unabhängig vom verwendeten Renderer. Diese Abstraktionsschicht erlaubt es u.a. auch hybride Systeme zu entwickeln, die gleichzeitig verschiedene Renderer ansprechen können. RTSG muss lediglich mitgeteilt werden, welche Engine verwendet werden soll. An der Anwendung selbst müssen dazu keine Änderungen vorgenommen werden. Auf Basis von RTSG wurde einer der derzeit schnellsten X3D-Viewer implementiert.

4. Das Verteilungsframework „Uray“

RTfact und RTSG nutzen die Rechenkapazität eines einzelnen Rechners maximal aus. Dennoch ist für eine interaktive und hochrealistische Darstellung großer Szenen ein Verbund mehrerer Rechner (Cluster) notwendig. Die Rendering-Teilaufgaben sowie die fertig gestellten Bildteile werden hierzu mit dem ebenfalls selbst entwickelten Framework „Uray“ (Repplinger et al., 2008) auf einem Cluster verteilt und synchronisiert. URay basiert auf der eigenen Basistechnologie der „Netzwerkintegrierten Multimedia Middleware (NMM)“ (Lohse et al., 2008) und repräsentiert einen Datenfluss entlang eines gerichteten Flussgraphen (siehe Abbildung 2).

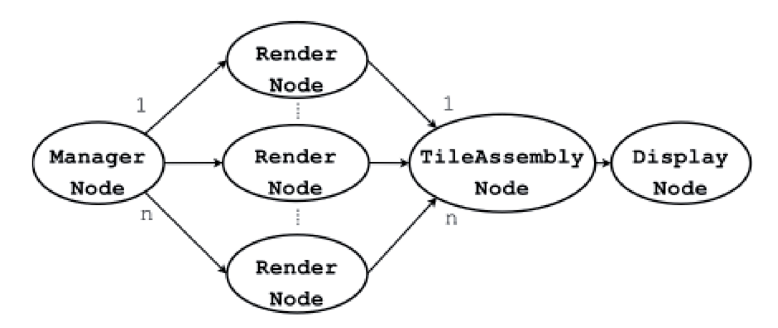


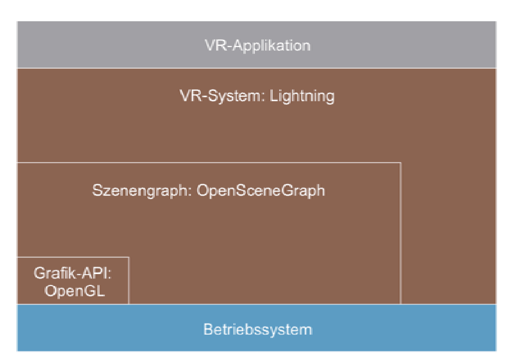
Abbildung 2 Beispiel für einen NMM-Flussgraphen innerhalb von URay

Die Knoten des Graphen stellen einzelne Verarbeitungsschritte dar und können dank NMM auf beliebigen Rechnern im Netzwerk liegen. Das zu erzeugende Bild wird in Pixelbereiche (so genannte Kacheln) zerlegt, die dann von mehreren Render-Knoten auf Basis von RTSG und RTfact gerendert werden. Jeder dieser Knoten operiert üblicherweise auf einem separaten Rechner und kann so dessen Rechenleistung voll nutzen. Nach dem Rendering werden die einzelnen Kacheln wieder zu einem gemeinsamen Bild zusammengesetzt und angezeigt. URay bietet hier vielfältige Möglichkeiten, gerenderte Bildströme mehrfach und gekachelt über mehrere Anzeigegeräten hinweg darzustellen, indem es die Synchronisationsmöglichkeiten von NMM ausnutzt. So können auch synchron Benutzereingaben verarbeitet oder mehrere Blickpunkte in die Szene gerendert werden, z.B. für Stereo-Bildpaare.
Der gewählte Ansatz zur Parallelisierung des Rendering-Prozesses nutzt die inhärente Unabhängigkeit einzelner Pixel beim Raytracing aus. Die Verteilung auf mehrere Rechner ist dadurch höchst effizient und nahezu linear skalierbar.

5. Integration eines Raytracers in ein VR-System

Die Softwarearchitektur etablierter VR-Systeme wie z.B. Lightning (Bues et al., 2008) oder VR-Juggler besteht typischerweise aus drei Schichten: einer Applikations- und Interaktionsschicht (High-Level), einem Szenengraph-System (Mid-Level), und einer Rendering-Schicht (Low-Level). In aktuellen, auf Rasterisierung basierenden Systemen hat sich OpenGL aufgrund seiner plattformübergreifenden Verfügbarkeit und breiten Hardware-Unterstützung als

Low-Level-Rendering-Bibliothek durchgesetzt. In der darüber liegenden Schicht zur Grafikabstraktion und -organisation befinden sich in der Regel klassische Szenengraphen meist auf OpenGL-Basis wie z.B. OpenSceneGraph oder OpenSG. Erst die obere Schicht zur Anwendungsentwicklung unterscheidet die einzelnen VR-Systeme konzeptuell voneinander und definiert damit ihre Zielgruppe.
Um nun Echtzeit-Raytracing in ein bestehendes VR-System zu integrieren, kann man theoretisch auf jeder der drei Schichten ansetzen. Die Applikationsschicht des VR-Systems soll aber typischerweise unverändert erhalten bleiben, da ein Ersetzen dieser Schicht einer kompletten Neuentwicklung des Systems gleichkommen würde. Das reine Ersetzen der Rendering-Engine durch eine für Echtzeit-Raytracing scheitert, wie in Abschnitt 3 erläutert, in der Praxis an den verwendeten Szenengraphen, deren Struktur ungeeignet für eine sinnvolle Raytracing-Integration ist (Rubinstein, 2005). Deshalb integriert der hier vorgestellte Ansatz sowohl die Raytracing Engine RTfact sowie den daran angepassten den Szenengraph RTSG in das VR-System Lightning. Die Rendering spezifischen Anteile des ursprünglich von Lightning verwendeten Szenengraph OpenSceneGraph werden in diesem Ansatz vollständig durch RTSG ersetzt. Abbildung 3 zeigt die umgesetzte Architektur und die verschiedenen Integrationsebenen.



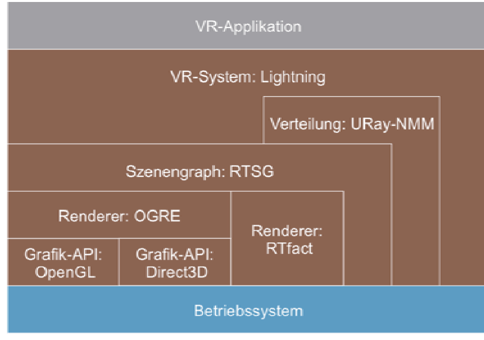


Abbildung 3 Architektur eines klassischen VR-Systems (links) und des integrierten Systems (rechts)

RTSG implementiert den X3D-Standard und bietet damit standardisierte Schnittstellen für eine leichte Integration in bestehende VR- und Visualisierungssysteme, aber auch mächtige Sprachelemente zur Definition von Anwendungslogik, z.B. durch das „Scene Authoring Interface (SAI)“ von X3D. Üblicherweise hat auch ein VR-System vielfältige Möglichkeiten zur Realisierung von Anwendungslogik. Das VR-System Lightning bietet hierzu eine C++- und eine Tcl/Tk-Skriptschnittstelle. Als Entwickler muss man daher entscheiden, auf welcher Ebene letztendlich Anwendungen bzw. Anwendungsteile sinnvoll definiert werden. In dem vorgestellten Ansatz ist die Anwendungslogik in zwei grundlegende Bereiche getrennt: objektbezogene Anteile, die direkt dem Verhalten eines Objekts in der Szene zugeordnet werden können (z.B. eine Ampelsteuerung), und objektübergreifende Anteile, die das Verhalten des Gesamtsystems definieren (z.B. eine Verkehrssimulation). Erstere werden direkt in X3D implementiert, und können somit in mehrere verschiedene Anwendungen einfließen, während letztere auf Ebene des VR-Systems entwickelt werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Entwicklung flexibel zu programmierender Multi-core-Prozessoren ist Raytracing eine echte Alternative zu der Bildberechnung mit Grafikkarten. In VR-Anwendungen bietet Raytracing eine inhärente Bildqualität und einen Realismus, die mit den klassischen Verfahren ohne großen Datenvorbereitungsaufwand nicht

zu erreichen sind. Die nun verfügbare, flexiblere Hardware lässt die Grenzen zwischen Rasterisierung und Raytracing zunehmend verschwimmen, so dass durchaus hybride Systeme denkbar werden, die die jeweiligen Vorteile beider Ansätze nutzen.
Die hier beschriebene Integration zeigt, dass die Nutzung von Raytracing in immersiven, interaktiven Anwendungen mit vertretbarem Hardwareaufwand möglich ist. Allerdings sind immer noch performante Clustersysteme notwendig, um eine flüssige Interaktion und Systemreaktion zu ermöglichen. Anwendungen mit hoch dynamischen Szeneninhalten sind gegenwärtig nur eingeschränkt darstellbar. Allerdings ist die erreichbare Bildqualität entsprechend hoch. Der große Durchbruch ist voraussichtlich erst dann zu erwarten, wenn Raytracing von Computerspielen auf Desktoprechnern genutzt werden kann und in gängigen Grafiktreibern bzw. Entwicklungsbibliotheken integriert ist.

7. Referenzen

Akenine-Möller T., Haines E. (2002): Real-Time Rendering. AK Peters, Natick, Mass. 2002

Bues M., Gleue T. and Blach R. (2008): Lightning - Dataflow in Motion, in Proceedings of the IEEE VR 2008 workshop "SEARIS-Software Engineering and Architectures for Interactive Systems", 2008.

Dietrich A., Wald I., Wagner M. and Slusallek P. (2004): VRML Scene Graphs on an Interactive RaytracingEngine. Proceedings of IEEE VR 2004.

Golem (2008): Nvidia Tech-Demo „Medusa“; http://www.golem.de/0806/60425.html

Georgiev, I. and Slusallek P. (2008): RTfact: Generic Concepts for Flexible and High Performance Ray Tracing. Proceedings of IEEE Interactive Raytracing Symposium, Los Angeles, USA, August, to appear.

Lohse M., Winter F., Repplinger M. und Slusallek P. (2008): Network-Integrated Multimedia Middleware (NMM). Proceedings of ACM Multimedia 2008

Junker G. (2006): Pro OGRE 3D Programming; Apress

Kloss J, Schickel P. (2009): Programmierung interaktiver Multiuser-Welten für das Internet; Addison-Wesley, München

Kuehne B., Martz P. (2007): OpenSceneGraph Reference Manual v2.2; Skew Matrix Software and Blue Newt Software, 2007

Repplinger M., Löffler A., Rubinstein D. und Slusallek P.: URay: A Flexible Framework for Distributed Rendering and Display. Technical Report 2008-01, Informatik, Universität des Saarlandes, Dezember 2008.

Rubinstein D.: RTSG: Design and Implementation of a Scene Graph Library based on Real-Time Ray Tracing, Diplomarbeit, Universität des Saarlandes, 2005.

Wald I. Benthin C, Wagner M., Slusallek Ph. (2001): Interactive Rendering with Coherent Ray Tracing. Computer Graphics Forum 20, 3 (Sep. 2001): 153–164

Wernecke J. (1994): The Inventor Mentor, Addison-Wesley

8. Autoren

Dr. sc. nat. Hilko Hoffmann
Leiter der Gruppe Simulated Reality

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH
Forschungsbereich Agenten und Simulierte Realität
Stuhlsatzenhausweg 3/Campus Gebäude D 3 2
66123 Saarbrücken

Telefon: 0681 302 3832
Telefax: 0681 302 2235
E-Mail: hilko.hoffmann@dfki.de

Dipl.-Inform. Dmitri Rubinstein

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH
Computer Graphics
Stuhlsatzenhausweg 3/Campus Gebäude D 3 2
66123 Saarbrücken

Telefon: 0681 302 3833
Telefax: 0681 302 3843
E-Mail: rubinstein@cs.uni-sb.de

M. Sc. Alexander Löffler

Universität des Saarlandes
Computer Graphics Group
Campus E1 1
66123 Saarbrücken

Telefon: 0681 302 3852
Telefax: 0681 302 3843
E-Mail: al@graphics.cs.uni-sb.de

Prof. Dr. Philipp Slusallek
Leiter Deutsches Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI)

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH
Forschungsbereich Agenten und Simulierte Realität
Stuhlsatzenhausweg 3/Campus Gebäude D 3 2
66123 Saarbrücken

Telefon: 0681 302 5276
Telefax: 0681 302 2235
E-Mail: philipp.slusallek@dfki.de

12. IFF-Wissenschaftstage 16.-18. Juni 2009



Werkzeuge und Technologien

LumEnActive: Bewegte Projektion mit Anwendungsmöglichkeiten in Fertigung und Entwicklung

Dr. phil. Dipl.-Inf. Stefan Rapp
Dr. Irene Weber

Lebenslauf



Dr. phil. Dipl.-Inform. Stefan Rapp

Geschäftsführer

http://www.lumenactive.de

Dr. Stefan Rapp
Uhlandstraße 10
78559 Gosheim

Telefon: 07426 933 883
E-Mail: rapp@lumenactive.de

1985 - 1986 1988 - 1994	Studium der Informatik mit Nebenfach Computerlinguistik in Stuttgart
1995 - 1997	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Experimentelle Phonetik am Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung der Universität Stuttgart
	Promotion auf dem Gebiet Spracherkennung
1997 - 2004	Industrielle Forschung bei Sony zunächst als Entwicklungsingenieur, dann Projektleiter und Principal Scientist zu den Themen Sprachschnittstellen, Multimodale Benutzerschnittstellen, Haptik und gestenbasierte Grafische User Interfaces
2004	Gründung Conante
	Entwicklung von Benutzerschnittstellentechnologien und Beratung für die Telekommunikations-, Unterhaltungselektronik- und Automobilindustrie
	Entwicklung von LumEnActive

Lebenslauf



Dr. rer. nat. Dipl.-Inform. Irene Weber

Softwareentwicklung

Dr. Stefan Rapp
Uhlandstr. 10
78559 Gosheim

Telefon: 07426 933 883
E-Mail: weber@lumenactive.de
http://www.lumenactive.de

1987-1994	Studium der Informatik mit Nebenfach Mathematik
1994-2002	Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Intelligente Systeme am Institut für Informatik der Universität Stuttgart
	Promotion auf dem Gebiet Data Mining
2004-2008	Freiberufliche Beraterin und Entwicklerin. Tätigkeitsgebiete: Benutzerschnittstellen-technologien, Maschinelles Lernen, Geodaten
2007	Java/J2EE, Rule Engines. Branchen Logistik / Anlagenautomatisierung, Software-Dienstleistung
2008	Trainer und Consultant für JBoss (Red Hat GmbH)
seit 2008	Projektleitung und Softwareentwicklung im Bereich ERP (Sunray GmbH)
seit 2004 begleitend	Mitarbeit F&E bei LumEnActive und weiteren Benutzerschnittstellentechnologien

LumEnActive: Bewegte Projektion mit Anwendungsmöglichkeiten in Fertigung und Entwicklung

Dr. Stefan Rapp, Dr. Irene Weber

1. Zusammenfassung

In unserem Beitrag stellen wir LumEnActive vor, eine neue, projektionsbasierte Anzeigetechnologie. LumEnActive erlaubt das verzerrungsfreie Projizieren von computergenerierter Information auf unterschiedlich ausgerichtete Flächen im Arbeitsraum. LumEnActive projiziert Inhalte auf und neben Produktionsanlagen sowie direkt auf zu fertigende Güter – auf Wände, Arbeitstische, Maschinengehäuse, Motorhauben, Stoffbahnen, den Hallenboden etc. – auch örtlich wechselnd über einen sehr weiten Arbeitsbereich hinweg. Wir beschreiben Systemaufbau und Funktionsweise von LumEnActive sowie vier Anwendungsmöglichkeiten von LumEnActive in der industriellen Praxis.

2. Einleitung

Das Durchdringen der Informationstechnologie in allen betrieblichen Bereichen und ein anhaltender Trend zur Flexibilisierung der Produktion bis hin zur auftragsbezogenen Fertigung hat zur Folge, dass mehr und mehr produktionsrelevante Daten primär elektronisch vorliegen. Für die Weitergabe dieser Informationen an die Mitarbeiter müssen im Produktionsbereich Anzeigemöglichkeiten geschaffen werden, die flexibel nutzbar sind und mit den Arbeitsabläufen verträglich sind.

3. LumEnActive

LumEnActive ist eine Anzeigetechnologie, die auf Projektion mit Digitalprojektoren beruht. Durch die Verwendung von Projektion kann die Hardware außerhalb des unmittelbaren Arbeitsbereichs vorgehalten werden und ist somit vor Einwirkungen von Betriebsmitteln, aber auch vor Beschädigungen durch Werkstücke etc. geschützt. Als Anzeigeflächen können verschiedene, nahezu beliebig ausgerichtete, halbwegs homogene Flächen dienen wie etwa Wände, Arbeitstische und Werkbänke, der Hallenboden, aber auch je nach Größe der zu fertigenden Produkte oder der zu bearbeitenden Materialien, die Produkte oder Werkstücke selbst (beispielsweise Motorhauben, Stoffbahnen, Stahlplatten, Furnierplatten etc.). Auch Abdeckungen von Maschinen sind als Projektionsfläche wegen ihrer homogenen Fläche häufig gut geeignet.
Möglich wird die besondere Flexibilität von LumEnActive durch eine speziell konstruierte, computergesteuerte Reflexionseinheit, die das aus der Projektionsoptik austretende Licht des Projektors in eine nahezu beliebig wählbare Richtung ablenkt und so den Lichtstrahl frei im ganzen Arbeitsraum herumschwenken kann. Die weitere Hardware von LumEnActive besteht aus Standardkomponenten (Projektor, PC mit 3D-Grafikkarte, Maus, Tastatur). Die LumEnActive-Software steuert die Reflexionseinheit an und generiert das Bild für den Projektor so, dass es nach Reflexion am Ablenkspiegel der Reflexionseinheit und dem – im allgemeinen schrägen – Auftreffen auf der Projektionsfläche für den Betrachter unverzerrt erscheint. Der prinzipielle Aufbau des Systems aus Digitalprojektor und PC-gesteuerter Reflexionseinheit sowie die Entzerrung in Software ist mit dem der „Everywhere Displays“ vergleichbar (Pinhanez 2001), bei denen nach einer Kalibrierung zwischen verschiedenen Anzeigeflächen umgeschaltet werden kann.



Abbildung 1: LumEnActive: Projektor und Reflexionseinheit montiert auf Profilschiene

Das Neuartige an LumEnActive ist, dass die Steuerung der Projektionsrichtung mit einer Bildgenerierung in Echtzeit koordiniert erfolgt, so dass die projizierten Inhalte auch während der Bewegung dargestellt werden. Ausgedehnte graphische Darstellungen können damit sukzessive projiziert und interaktiv erkundet werden. Die zugrunde liegende Interaktionsart wurde als „Spotlight Navigation“ (Rapp et al. 2004) beschrieben. Der sich bewegende Lichtstrahl legt also nach und nach die darzustellenden Informationen frei. Dabei kann die Bewegung mit der Maus interaktiv gesteuert oder automatisch von einem Programm vorgegeben erfolgen (Rapp & Weber 2005). Mit LumEnActive kann so der ganze Arbeitsraum mit virtuellen Informationen 'tapeziert' werden, und wenn der Lichtstrahl des Projektors in die entsprechende Richtung fällt, wird die dort hinterlegte Information sichtbar.
Durch diese Fähigkeit konnte für LumEnActive ein durchgängiges, unmittelbar verständliches Bedienkonzept erarbeitet werden. Mit LumEnActive können Grafiken und Bilder der gängigen Formate wie auch Texte frei im Raum platziert werden. Das Festlegen der gewünschten Lage und Größe erfolgt sehr einfach vor Ort interaktiv mit der Maus. Der Bewegungsraum der Maus ist dabei nicht auf den momentan projizierten Bereich beschränkt, sondern sie kann über den ganzen Arbeitsraum hinweg bewegt werden. Der von der Reflexionseinheit abgelenkte Lichtstrahl des Projektors folgt dabei selbsttätig den Bewegungen der Maus und macht das jeweilige Umfeld sichtbar.
LumEnActive erlaubt neben Grafiken, Bildern und Texten auch das Einblenden von im Netz verfügbaren PCs über das VNC-Protokoll, und kann dadurch leicht mit existierender betrieblicher Software integriert werden. Über das Netzwerk werden die Pixel eines realen (oder auch virtuell auf einem Server gehosteten) Windows-, Mac- oder Linux-PCs übertragen und von LumEnActive passend skaliert und entzerrt. So können z.B. Informationen der Fertigungsplanung an allen Orten angezeigt werden, die von einem LumEnActive-System überstrichen werden können.
Von den vielen möglichen Anwendungsszenarien für LumEnActive in der betrieblichen Praxis beschreiben wir exemplarisch vier im Folgenden ausführlicher.

4. Anzeige von Messwerten im Arbeitsraum

Mehr und mehr Messgeräte arbeiten PC-basiert und zeigen Informationen am Monitor an. Verbreitet sind heutzutage zum Beispiel Speicheroszilloskope mit integriertem Windows-PC. Aber auch Optische Messsysteme verwenden den PC zur Aufbereitung und Darstellung der Messergebnisse. Nicht immer ist es dabei möglich, die Anzeige günstig im Arbeitsbereich zu platzieren.
Insbesondere bei wechselnden Arbeitsorten, z.B. bei Einstellarbeiten am Fahrwerk sind Wege von und zum PC in der Folge unausweichlich (Grebner 2007). Mit LumEnActive können die Messwerte fast beliebig in den Arbeitsbereich projiziert werden. LumEnActive spiegelt die PC-Inhalte unabhängig vom verwendeten Betriebssystem über das VNC-Protokoll, der komplette Bildschirm oder ein Teil davon kann so, geeignet entzerrt, auf eine Fläche im direkten Blickfeld projiziert werden. Der Bildschirminhalt des Mess-PC kann dabei an beliebig vielen Stellen im Arbeitsraum platziert werden (mehrere Verbindungen eines VNC-Client zum Server). Wenn der Lichtstrahl von LumEnActive diese Clients beleuchtet, wird der aktuelle Bildschirminhalt angezeigt.
Das Verändern der Abstrahlrichtung kann mit einer Funkmaus oder dem Trackpoint einer Projektorfernbedienung erfolgen, oder über Bluetooth von einem beliebigen Bluetooth-Mobiltelefon aus. Auch sind Koppelungen mit anderen Sensortechnologien möglich, beispielsweise kann der Lichtfleck und/oder der Bildschirminhalt stets einem lokalisierbaren RFID-Etikett oder Optischen Marken (Fiducials) folgen. Schließlich ist auch das automatische Verschieben der Projektion nach Erreichen eines bestimmten Messwertes oder ein getakteter Wechsel möglich. Je nach Arbeitsorganisation und Aufgaben lassen sich so direkt an die Arbeitsabläufe angepasste Lösungen implementieren.

5. Augmented Reality (AR): Arbeitsanweisungen direkt vor Ort projizieren

In der Forschung zur Augmented Reality erhalten Head Mounted Displays (HMD) viel Beachtung (Sutherland 1968, Bajura et al. 1992, Feiner et al. 1993). Während HMD ein geeignetes Vehikel für die Forschung sind, zeigen HMD in der Arbeitswelt jedoch auch Nachteile. Es zeigt sich, dass bei längerer Benutzung Ergonomie-Probleme auftreten können. Auch wenn bezüglich des Gewichts in den letzten Jahren Fortschritte erzielt worden sind, so können HMD bei längerem Tragen unangenehm sein. Da die Ansteuerelektronik von der Anzeigeeinheit getrennt ist, muss zu Arbeitsbeginn und -ende ein erheblicher Anlege-/ Verkabelungsaufwand betrieben werden. Falls das Mitführen von mobilen Rechnern nicht möglich ist, oder eine mehrstündige Stromversorgung sichergestellt werden muss, ergibt sich eine Einschränkung der Bewegungsfreiheit durch Kabel oder ein relativ hohes Gewicht durch starke und damit schwere Akkus. Auch ist im Allgemeinen bei HMD mit Einschränkungen im Sichtfeld und im Falle der Kamera-basierten AR mit Latenzen zu rechnen, die die Sicherheit der Arbeitnehmer beeinträchtigen können. Als abschließendes Problem der HMD ist noch zu erwähnen, dass es beim Tragen von HMD zu Übelkeit kommen kann (Geelhoed et al. 2000), vermutlich ähnlich der Seekrankheit dadurch ausgelöst, dass die visuelle Wahrnehmung der Umgebung nicht mit der Gleichgewichtswahrnehmung übereinstimmt. Als Ausweg bieten sich zwei Lösungen an: Zum einen der lediglich vorübergehende Gebrauch von HMD oder in der Hand gehaltener Displays (Fitzmaurice 1993), oder zum anderen die Augmentierung der Umgebung durch Projektion (z.B. Wellner 1993, Rapp & Weber 2005, Bimber & Raskar 2005).
In vielen Arbeitssituationen kann projizierte AR ein HMD ersetzen. Dadurch können alle mit dem Tragen des HMD einhergehenden Nachteile bei Ergonomie und Sicherheit vermieden werden. LumEnActive kann dabei wegen der Steuerbarkeit des Projektionsstrahls ebenfalls über einen sehr weiten Arbeitsbereich hinweg arbeiten. Lediglich die Augmentierung auf sehr heterogene Struk-

turen gelingt mit HMD besser als mit Projektion, z.B. die Darstellung eines Texts auf einem Gewirr aus Kabeln oder Rohren. Prinzipbedingt können bei der Projektion im Gegensatz zu der vorherrschenden HMD Architektur keine Bildbereiche komplett mit virtuellen Pixeln ersetzt werden. Bei der projizierten AR müssen für detaillierte Informationen homogene Flächen genutzt werden, auf inhomogenen Flächen (z.B. Kabel/Stecker oder Rohre) ist einfaches farbliches Hervorheben oder Markieren möglich, gegebenenfalls mit Legende auf einer nahen homogenen Fläche.
Die Vorteile von LumEnActive gegenüber HMD liegen in der völligen Ungebundenheit bezüglich Verkabelung und Gewicht, dem uneingeschränkten Sichtfeld und der Vermeidung von 'Seekrankheit'. Projektionsbasierte AR ist eine unaufdringliche Technologie, akzeptabel auch für Gelegenheitsnutzer, und kann in vielen AR-Anwendungen eine sinnvolle Alternative zu HMD sein.

6. Projektion von Plänen im Maßstab 1:1: Fertigung großer Gewerke

Die Möglichkeit des Überstreichens einer sehr großen Fläche, viel größer als der projizierte Bereich eines starren Projektors, eröffnet auch weitere Anwendungen für LumEnActive. Die kanadische Firma Virtek Vision Inc. (jetzt zu Gerber Scientific gehörend) stellt spezielle Laserscanner her, mit denen Pläne von der Hallendecke auf den Boden projiziert werden können. Dabei wird ein Laserstrahl analog zu den zwischen 1960 und ca. 1985 gebräuchlichen Vektorgrafikterminals nicht zeilenweise, sondern entlang der zu zeichnenden Linien abgelenkt, um zum Beispiel die Lage von Balken oder Verbindern für den Bau von Holzkonstruktionen anzuzeigen. Aus einer Höhe von 4-5 Metern kann so eine etwa 5 x 5 Meter große Fläche überstrichen werden.
Mit einem an der Hallendecke angebrachten LumEnActive können ebenso Pläne im Maßstab 1:1 mit großer Auflösung und sehr viel kostengünstiger auf den Hallenboden projiziert werden. Dabei bietet LumEnActive gegenüber der Laserlösung vollfarbige Darstellungen und geometrisch beliebig komplexe textliche Informationen. Durch die Verwendung von Standardkomponenten können sehr niedrige Investitionskosten erreicht werden. Auch können sehr viel leichter Interaktionselemente in die Darstellung integriert werden. Die Darstellung ist auf die Umgebung um den aktuellen Arbeitsbereich beschränkt, und stört somit nicht in anderen Bereichen. Falls benötigt, kann mit der im folgenden Kapitel beschriebenen Technik über einen zweiten Projektor eine über die komplette Fläche reichende, gröber auflösende Übersicht angezeigt werden. Der Arbeitsbereich hat bei LumEnActive zumindest eine vergleichbar große Ausdehnung, auch können problemlos mehrere LumEnActive Systeme kombiniert werden, wenn besonders große Werkstücke wie etwa Tragwerkskonstruktionen für große Hallen etc. hergestellt werden müssen.

7. Arbeiten mit höchstauflösenden Desktops: Fovea- oder Fokus+Kontext-Displays

Für alle derzeit gebräuchlichen Displaytechnologien, gleichgültig ob LCD- oder Plasmadisplay, DLP-, LCOS- oder LCD-Projektor, gibt es aus fertigungstechnischen und/oder wirtschaftlichen Gründen und im Widerspruch zur gestiegenen Leistungsfähigkeit und stetig wachsendem Funktionsumfang von Computern eine Obergrenze bei der Auflösung. Bildschirmfläche wird dadurch zum knappen Gut. Traditionell wird der Mangel an Bildschirmfläche per Software abgemildert, durch überlappende Fenster, der Verkleinerung zu Icons, hierarchisch aufklappende Menüs, und durch Scrollbalken. Während diese Mittel überhaupt erst den Umgang mit wesentlich größeren Pixelmengen ermöglichen, so ergeben sich durch die abrupt wechselnden Bildschirme, nicht sichtbare Information wie verborgene Menüpunkte etc. auch immer wieder Probleme bei der Bedienung. Obgleich ein Scrollbalken eine visuelle Rückmeldung über den aktuell dargestellten Bereich im

Dokument gibt, treten bei nahezu allen Benutzern immer wieder Situationen auf, in der zumindest temporär die Orientierung in einem größeren Dokument verloren geht. Für viele Bereiche, etwa Technisches Zeichnen oder bei der Arbeit mit Karten und Plänen wären Displaytechnologien wünschenswert, die an die Auflösung von bedrucktem Papier heran reichen würden. Ansätze, mehrere Monitore aneinander zu setzen, haben zum Nachteil, dass die Bildfläche durch Stege unterbrochen ist. Arrays aus Projektoren sind wegen der notwendigen Justage und der notwendigen mehrfachen Signalbereitstellung teuer. Das menschliche Auge besitzt im Zentrum des Sichtbereichs einen Bereich des Scharfen Sehens (Fovea), bei dem die Sehzellen besonders eng beieinander stehen, während im peripheren Bereich die Zellen größer sind und folglich weniger gut auflösen. Analog zu den Bereichen im Auge wurden deshalb Anzeigesysteme mit Bereichen unterschiedlicher Auflösung vorgeschlagen, sogenannte Fovea- oder auch Fokus+Kontext-Displays (Harvey et al. 1979, Baudisch et al 1999, Ashdown 2004, Staadt et al 2006). Dadurch kann an der Stelle, an der gearbeitet wird, eine hohe Auflösung bereitgestellt werden und trotzdem ein, wenn auch schlechter aufgelöster, sehr weiter Bereich für das periphere Sehen bereitgestellt werden.



Abbildung 2: Fokus+Kontext-Display

Ein Fovea-Display lässt sich direkt mit LumEnActive realisieren. Mittels eines skalierenden VNC-Clients projiziert ein stationär installierter Deckenprojektor eine grob aufgelöste Übersicht (Kontext-Projektion), zum Beispiel auf 1024x768 Pixel statt 8192x6144 reduziert. Mit LumEnActive wird ein VNC-Client zum gleichen Server mit der Maus platziert und passend zur Überdeckung gebracht. Dabei steht der LumEnActive-Projektor (Fokus-Projektor) näher an der Projektionsfläche und etwas seitlich oder tiefer, um nicht die Kontext-Projektion zu stören. Die Fokus-Projektion ist im Durchmesser dadurch deutlich kleiner als die Kontext-Projektion. Die physikalische Auflösung des Fokus-Projektors sollte in etwa mit der Auflösung des abgedeckten Bereichs übereinstimmen, im angesprochenen Beispiel also etwa acht mal so klein sein wie die Kontext-Projektion. Da der Fokus-Bereich dank LumEnActive den Bewegungen der Maus folgt, wird so stets im Umfeld um den Mauszeiger in voller Auflösung, in der weiteren Umgebung nur mit geringerer Auflösung angezeigt. So kann z.B. präzise an einer CAD Datei gearbeitet werden, oder Teile

eines Fabriklayouts oder eines umfangreichen Flussdiagramms diskutiert werden, ohne dabei die Übersicht zu verlieren, in welchem Bereich des Datenraums man sich gerade befindet.

8. Diskussion

Wir haben exemplarisch vier interessante Anwendungsfelder von LumEnActive aufgezeigt, die im Labor funktionieren, jedoch noch nicht im betrieblichen Alltag eingesetzt sind. Zurzeit sind wir auf der Suche nach Pilotanwendern und F&E-Partnern, die die Möglichkeiten von LumEnActive zur Produktivitätssteigerung im Unternehmen einführen möchten oder in Projekten als Basistechnologie einsetzen wollen. Für LumEnActive spricht, dass das System sehr flexibel für viele verschiedene Anwendungen verwendet werden kann und dadurch für Änderungen im Produktionsablauf offen ist. Auch wenn wir noch keine industriellen Anwendungen vorweisen können, so ist LumEnActive dem Prototypenstatus bereits entwachsen, da das System bereits in anderen Bereichen, und zwar in der Museumsdidaktik, der universitären Lehre und im Marketing eingesetzt wird. Aufgrund der generischen Programmierung lassen sich mit LumEnActive bereits alle vier angesprochenen Szenarien 'out of the box' realisieren. Für eine engere Ankopplung an die betriebliche Infrastruktur können in der Zusammenarbeit zwischen R&D-Partner oder IT-Abteilung des industriellen Anwenders und dem Hersteller im Rahmen von Projekten Integrationsarbeiten bewerkstelligt werden.

9. Literatur

M. Ashdown (2004) Personal Projected Displays, PhD Thesis, University of Cambridge Computer Laboratory, 2004.

Bajura, M., Fuchs, H. & Ohbuchi, R. (1992) Merging virtual objects with the real world: seeing ultrasound imagery within the patient. In Proceedings of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 203-210. ACM Press, 1992.

Baudisch, P., Good, N., and Stewart, P. (2001) Focus plus context screens: combining display technology with visualization techniques. In Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology (Orlando, Florida, November 11 - 14, 2001). UIST '01. ACM, New York, NY, 31-40.

Bimber, O. & Raskar, R. (2005) Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds. A K Peters LTD (publisher), ISBN: 1-56881-230-2, July 2005.

Feiner, S., MacIntyre, B. & Seligmann, D. (1993) Knowledge-based Augmented Reality. Communications of the ACM 36, 7 (July 1993), 52-62.

Fitzmaurice, G.W. (1993). Situated Information Spaces and Spatially Aware Palmtop Computers. Communications of the ACM, 36(7), 38-49.

Geelhoed, E.N., Falahee,M., & Latham, K. (2000) Safety and Comfort of Eye Glass Displays. in 2nd Int. Symp. on Handheld and Ubiquitous Computing. 2000. Bristol.

Grebner, K. (2007) Virtual Reality und Augmented Reality im Produktentstehungsprozess Innovationen für die Zukunft – Aus Visionen werden attraktive Produkte, Vortrag Kick-off Cluster Visual Computing am 03.05.2007 in Stuttgart.

Harvey, J.F., Chambers, W.S. & Kulik, J.J. (1979) Pilot helmet mounted CIG display with eye coupled area of interest, US patent 4,348,186.

Pinhanez, C. (2001) The everywhere displays projector: A device to create ubiquitous graphical interfaces. In Proc. of Ubiquitous Computing 2001 (Ubicomp”01), Atlanta, Georgia, September 2001.

Rapp, S., Michelitsch, G., Osen, M., Williams, J., Barbisch, M., Bohan, R., Valsan, Z., & Emele, M. (2004) “Spotlight Navigation: Interaction with a handheld projection device” In: Advances in Pervasive Computing, PERVASIVE 2004, April 18–23, pp. 397–400, Linz/Vienna, Austria.

Rapp, S. & Weber, I. (2005) LumEnActive: A novel presentation tool for interactive installations, In: 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST 2005), November 8–11, Pisa, Italy.

Staadt, O. G., Ahlborn, B. A., Kreylos, O., & Hamann, B. (2006) A foveal inset for large display environments. In Proceedings of the 2006 ACM international Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications (Hong Kong, China). VRCIA '06. ACM, New York, NY, 281-288.

Sutherland, I. E. (1968) A head-mounted three dimensional display, Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I, December 09-11, 1968, San Francisco, California.

Wellner, P. (1993) Interacting with Paper on the DigitalDesk. Communications of the ACM. Vol. 36, No. 7: 87-96, July 1993.

10. Autoren

Dr. Stefan Rapp
Geschäftsführer

Dr. Stefan Rapp
Uhlandstraße 10
78559 Gosheim

Telefon: 07426 933 883
Telefax: 07426 933 882
E-Mail: rapp@lumenactive.de

Dr. Irene Weber
Softwareentwicklung

Dr. Stefan Rapp
Uhlandstraße 10
78559 Gosheim

Telefon: 07426 933 883
Telefax: 07426 933 882
E-Mail: weber@lumenactive.de



Werkzeuge und Technologien

Optimierung der See-Through-Kalibrierung für mobile Augmented-Reality-Assistenzsysteme

Bacc. Jens Grubert
Dipl.-Ing.-Inf. Johannes Tümler
Dr.-Ing. Rüdiger Mecke

Lebenslauf



Bacc. Jens Grubert

Hilfswissenschaftlicher Mitarbeiter

Fraunhofer-Institut für
Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 40 90 715
E-Mail: jens.grubert@iff.fraunhofer.de

2000-2002	Comlab MD Magdeburg Mitbegründer und Programmierer
Seit 2003	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg Diplomstudiengang Computervisualistik
2004-2007	Hoffmann Werbeagentur Magdeburg Programmierer
2007	University of Calgary, Kanada Berufspraktikum Large Display Interaction
Seit 2008	Fraunhofer IFF Magdeburg Hilfswissenschaftlicher Mitarbeiter im Kompetenzfeld Virtual Prototyping

Optimierung der See-Through-Kalibrierung für mobile Augmented-Reality-Assistenzsysteme

Bacc. Jens Grubert, Dipl.-Ing.-Inf. Johanes Tümler, Dr.-Ing. Rüdiger Mecke

1. Einleitung

Augmented Reality (AR) Systeme blenden virtuelle Objekte situationsgerecht in reale Umgebungen ein. Mobile AR-Systeme nutzen zur Anzeige oftmals Optical-See-Through Head Mounted Displays (OST-HMDs), welche die Bereitstellung solcher Informationen bei gleichzeitig gut wahrnehmbarer Umgebung ermöglichen. Zur lagerichtigen Einblendung in OST-HMDs ist es notwendig, die Position und Blickrichtung des Anwenders in Bezug zu seiner Umgebung zu erfassen. Insbesondere bei OST-HMDs sind die Orientierung und Lage der Erfassungs-sensorik (z.B. Kamera) relativ zum Auge sowie die Eigenschaften des Auge-Display Verbundes mathematisch zu berücksichtigen. Dieses als See-Through-Kalibrierung (STK) bezeichnete Verfahren ist notwendig, um reale Objekte aus Sicht der Anwender lagerichtig mit virtuellen Objekten überblenden zu können.
Zu bestehenden See-Through-Kalibrierverfahren liegen bisher kaum Aussagen über erreichbare Überlagerungsgenauigkeiten vor. Die Auswahl eines STK Verfahrens für einen konkreten Anwendungsfall hängt jedoch maßgeblich von den vorliegenden Genauigkeitsanforderungen ab.
Dieser Beitrag beschreibt eine Nutzerstudie zum Vergleich zweier Durchführungsmethoden der STK hinsichtlich Überlagerungsgenauigkeit und Durchführungsdauer. Dabei werden im Gegensatz zu bisherigen Untersuchungen auch nutzerbezogene Aspekte während der Kalibrierung berücksichtigt.

2. Verwandte Arbeiten

Während die Durchführungsdauer von STK Verfahren automatisch protokolliert werden kann, ist die Beurteilung der Überlagerungsgenauigkeit von OST-HMD basierten AR Systemen komplexer. In bisherigen Arbeiten wurden dazu vorrangig zwei Herangehensweisen verfolgt. Bei einigen Forschungsprojekten wurden Nutzer von AR Systemen befragt, wie sie die Überlagerungsgenauigkeit zwischen virtuellen und zugehörigen realen Objekten einschätzen [FMS93]. Diese qualitative Angabe der Genauigkeit (z.B. "akzeptabel"' bis "nicht akzeptabel"') ist u.a. von subjektiven Einschätzungen der Nutzer sowie von den Genauigkeitsanforderungen der zu erledigenden Aufgaben abhängig. In anderen Arbeiten wurde das menschliche Auge durch eine Kamera simuliert und der Überlagerungsfehler zwischen realen und rechnergenerierten Objekten wurde durch bildbasierte Messungen bestimmt (so z.B. in [OZT+04]). Durch diese im Vergleich zur qualitativen Beurteilung aufwändigere Herangehensweise erhält man quantitative Aussagen über die Überlagerungsgenauigkeit. Ein Nachteil dabei ist das Vernachlässigen von nutzerbezogenen Aspekten. So werden das Verrutschen des OST-HMDs während der Kalibrierung oder eine durch Nutzer ungenau vorgenommene Überlagerung als Fehlerquellen vernachlässigt. In [MGT+01] wurde ein Ansatz zur quantitativen Erfassung der Überlagerungsgenauigkeit unter Berücksichtigung nutzerbezogener Fehlerquellen vorgestellt. Die Autoren umgehen die Schwierigkeit, keinen Zugriff auf die auf der Netzhaut projizierten Informationen zu haben, in dem sie die Nutzer die Projektion eines rechnergenerierten Objektes auf ein Messfeld (in diesem Fall ein Grafiktablett) ortsbezogen angeben lassen. Mit diesem Messfeld kann die Überlagerungs-genauigkeit jedoch nur in Armreichweite der Nutzer überprüft werden. Für größere Arbeitsbereiche ist diese Methode nicht geeignet.

3. Nutzerstudie

In diesem Beitrag wird eine Nutzerstudie vorgestellt, in der die Überlagerungsgenauigkeit und die Durchführungsdauer zweier Durchführungsmethoden der STK unter Berücksichtigung nutzerbezogener Faktoren quantitativ verglichen wird. Im Gegensatz zu vorherigen Arbeiten kann die Überlagerungsgenauigkeit für verschiedene Arbeitsentfernungen bestimmt werden. Zusätzlich wurden subjektive Einschätzungen hinsichtlich der Nutzerakzeptanz erfasst.

3.1. Teilnehmer

An der Nutzerstudie nahmen 22 Probanden (2 weiblich, 19 männlich) teil. Sie waren im Durchschnitt 25,1 Jahre alt (σ 2,32). Bei den Probanden handelte es sich hauptsächlich um Studenten der Informatik. Acht Probanden trugen eine Sehhilfe (Kontaktlinsen oder Brille). Alle Probanden hatten Computererfahrung. Neun von Ihnen hatten noch keine Erfahrung auf dem Gebiet der AR. Elf Probanden hatten noch nie Umgang mit einem HMD, zwei Probanden nutzten HMDs bereits mehr als zweimal.

3.2. Versuchsaufbau

In der Nutzerstudie wurde die in [TMX07] entwickelte und in [GTM08] weiterentwickelte Ein-Schritt-Kalibrierung (ESK) mit dem in [TZO03] vorgestellten „Tiefen-SPAAM“ und im Rahmen dieser Arbeit erweiterten Verfahren der Mehr-Schritt-Kalibrierung (MSK) hinsichtlich Überlagerungsgenauigkeit und Durchführungsdauer verglichen. Als Trackingsystem wurde ein optisches Inside-Out Tracking mit Papiermarkern verwendet. Als OST-HMD wurde ein Microvision Nomad-ND2100 eingesetzt.

Beim Verfahren des „Tiefen-SPAAM“ nehmen Anwender eine sequenzielle Zuordnung mehrerer 2-D Einblendungen zu einem 3-D Passpunkt vor (siehe Abbildung 1 Mitte). Laut [TZO03] führt die MSK Methode "Tiefen-SPAAM" zu genauen Ergebnissen, wenn die Entfernung der Anwender zum verwendeten Passpunkt mehrmals verändert wird. Die hier verwendete MSK unterscheidet sich vom Verfahren des „Tiefen-SPAAM“ dadurch, dass die virtuellen 2-D Einblendungen vorgegeben, aus welcher Position und Orientierung 3D-Passpunkte überlagert werden sollen, sodass eine inhomogene räumliche Verteilung der Passpunkte forciert wird. Ein potentieller Nachteil des Verfahrens ist der hohe zeitliche Aufwand bei der Durchführung, der durch die mehrmalige Neupositionierung der Anwender entsteht.

Die am Fraunhofer IFF entwickelte ESK ist die konsequente Fortsetzung des MSK-Verfahrens indem es eine Anordnung mehrerer 3-D Passpunkte auf einem Kalibrierkörper (siehe Abbildung 1, links). Durch die Anordnung der Passpunkte wird ein Tiefenbereich von ca. 70 cm abgedeckt. Der tatsächliche Kalibrierbereich hängt vom Sichtfeld des verwendeten OST-HMDs sowie von nutzerbezogenen Faktoren (z.B., Positionierung der Nutzer, Sitz des OST-HMDs auf dem Kopf der Nutzer) ab. Mit dem in dieser Nutzerstudie verwendeten Microvision Nomad ND2100 betrug die kalibrierte Tiefe aus Sicht der Nutzer ca. 100 cm – 170 cm.

Um quantitative Aussagen zur Überlagerungsgenauigkeit unter Berücksichtigung nutzerbezogener Fehler treffen zu können, wurde eine Messanordnung erstellt, bei welcher der Abstand zwischen realen und virtuellen Objekten mit Hilfe eines Laserpointers angeben werden kann (siehe Abbildung 1, rechts). Es wurde dazu eine Testtafel mit papierbasierten Markern eingesetzt. Diese wurde innerhalb des Kalibrierbereichs (ca. 120 cm Abstand zum Probanden) aufgestellt. Auf der Testta-

fel befinden sich fünf Marker. Diese sind so angeordnet, dass sie in den Ecken und in der Mitte des OST-HMDs zu sehen sind. Für jeden der fünf Marker auf der Testtafel kann für eine geladene Kalibrierung ein virtueller Marker überlagert werden. Über einen Laserpointer können die Eckpunkte der virtuellen Marker auf der Testtafel durch die Testperson markiert werden. Durch Abstands-bestimmung zwischen Laserpointermarkierung und realer Markerposition kann die Überlagerungsgenauigkeit in der Arbeitsentfernung ermittelt werden. Um die Eingabegenauigkeit mittels Laserpointer zu erhöhen, kann der Kopf während der Eingabe auf einer Kinnstütze abgelegt werden.



Abbildung 1: Probanden bei der Durchführung der ESK (links), der MSK (Mitte) sowie bei der Angabe des Überlagerungsfehlers (rechts).

3.3. Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde auf einen Zeitraum von 60 Minuten ausgelegt und wurde in zwei Phasen durchgeführt. Alle Probanden führten sowohl die ESK als auch die MSK Methode durch, wobei die Hälfte der Probanden die ESK zuerst durchführte und die andere Hälfte die MSK.

In der ersten Phase wurde zunächst je ein Probedurchgang der ESK bzw. MSK durchgeführt. Beide Kalibriermethoden wurden im Sitzen durchgeführt. Nach den Probedurchgängen wurden die Probanden gebeten, das OST-HMD auf ihrem Kopf nicht mehr zu verschieben. Die Probanden führten nun nochmals beide Methoden durch, wobei die Durchführungsdauer automatisch protokolliert wurde. Als Ergebnis liegen pro Methode jeweils ein Satz von Kalibierparametern (Kalibrierdatei) vor.

Die zweite Phase umfasste die Ermittlung des Überlagerungsfehlers für beide Methoden am oben beschriebenen Messstand. Es wurden Messungen an der Testtafel in 120 cm Abstand vorgenommen. Um die Beeinflussung durch subjektive Präferenzen für eine der beiden Kalibiermethoden auszuschließen, war für die Probanden nicht ersichtlich, welche der beiden Kalibierdateien jeweils für die Überlagerung verwendet wurde. Die Probanden gaben mittels Laserpointer die Position der Eckpunkte der virtuellen Rechtecke auf der Testtafel an. Der angezeigte Punkt wurde durch einen Versuchsbetreuer markiert und später der Versatz zum zugehörigen Eckpunkt des realen Markers ausgemessen. Zusätzlich zur Erfassung der Überlagerungsgenauigkeit im kalibrierten Volumen wurde die Überlagerungsgenauigkeit außerhalb dieses Bereiches untersucht. Dazu wurde neben der Testtafel in 120 cm Entfernung eine zweite Testtafel in ca. 70 cm Entfernung verwendet.

3.4. Hypothesen

Es wurde erwartet, dass die ESK Methode schneller durchzuführen ist als die MSK Methode. Weiterhin wurde erwartet, dass die Überlagerungsgenauigkeit beider Verfahren innerhalb des kalibrierten Bereiches ähnlich ist. Daher lauten die Hypothesen:

H1: Die ESK ist schneller durchführbar als die MSK.

H2: Die Überlagerungsgenauigkeit beider Verfahren ist innerhalb des kalibrierten Bereiches nicht signifikant unterschiedlich.

3.5. Ergebnisse

Von den 22 am Versuch teilnehmenden Probanden konnten nur Datensätze von 20 Probanden ausgewertet werden.

Die Durchführungsdauer betrug für die ESK Methode im Mittel 92 Sekunden (σ 50,8) und für die MSK Methode im Mittel 155 Sekunden (σ 35,1).

Die Ergebnisse zur Überlagerungsgenauigkeit in 120 cm Entfernung sind in Abbildung 2 dargestellt. Der Unterschied in der Überlagerungsgenauigkeit in einem Testabstand von 120 cm beträgt im Durchschnitt ca. 0,2 cm zugunsten der MSK, ist aber statistisch nicht signifikant ($p > 0,05$, t-test).

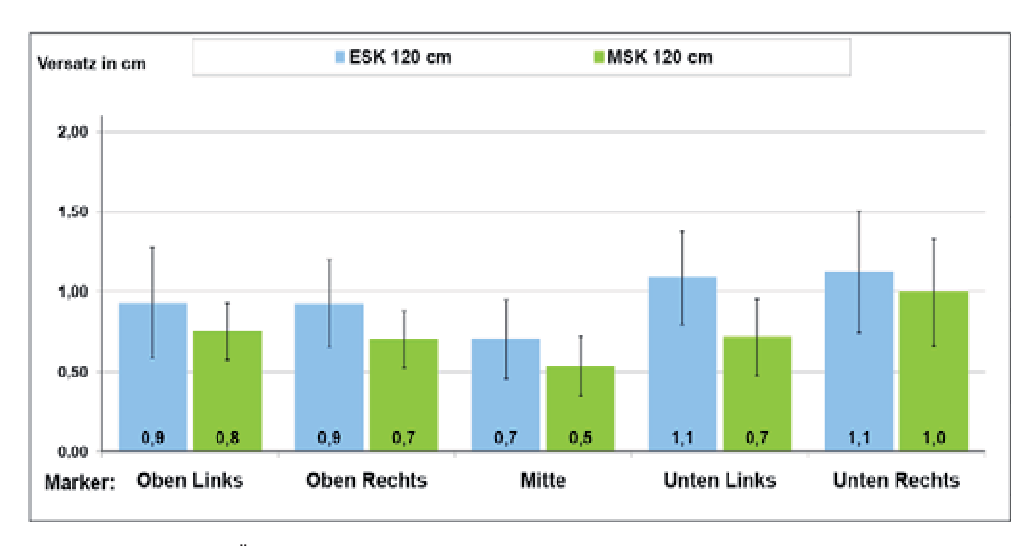


Abbildung 2: Mittlere Überlagerungsfehler sowie Standardabweichungen zwischen realen und virtuellen Markern in einem Testabstand von 120 cm. Die Markerpositionen entsprechen der Markeranordnung aus Abbildung 1, rechts.

Für die Testtafel außerhalb des kalibrierten Bereiches (ca. 70 cm) traten signifikante Unterschiede in der Überlagerungsgenauigkeit ($p < 0,05$, t-test)) auf (siehe Abbildung 3). Der Kalibrierfehler der ESK war im Durchschnitt 0,72 cm größer als der Kalibrierfehler der MSK. Obwohl beide Versuchsdurchläufe darauf ausgelegt waren den gleichen Kalibrierbereich (ca. 100 - 170cm) abzudecken, zeigte eine Analyse der Trackingdaten aller Probanden, dass dies nicht der Fall war. So begann der kalibrierte Bereich der ESK Methode bei durchschnittlich 106 cm (σ 2,7), bei der MSK Methode bei durchschnittlich 87 cm (σ 6,6). Der Bereich endete bei der ESK Methode durchschnittlich bei 166 cm (σ 2,8), bei der MSK im Mittel bei 188 cm (σ 20,6).

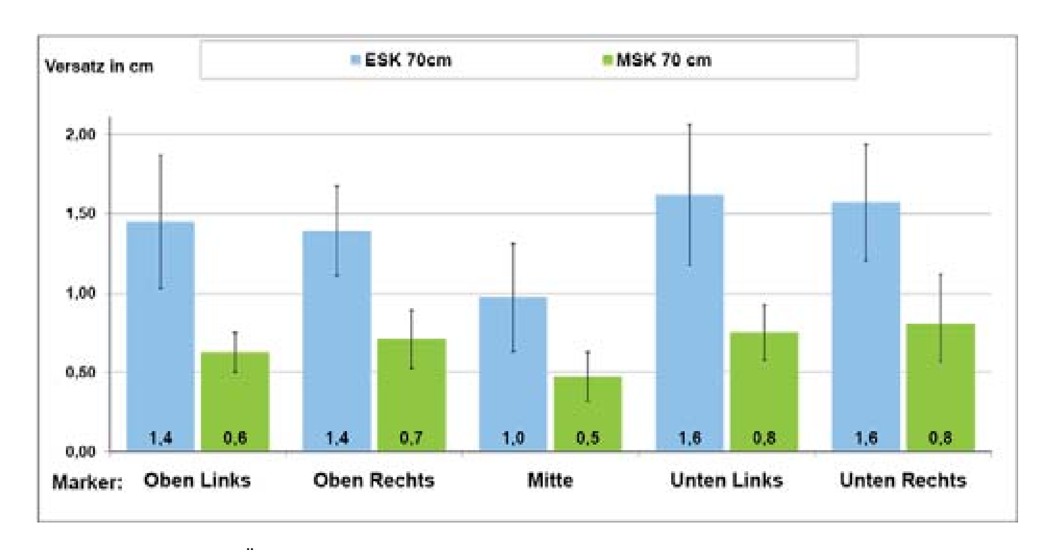


Abbildung 2: Mittlere Überlagerungsfehler sowie Standardabweichungen zwischen realen und virtuellen Markern in einem Testabstand von 70 cm. Die Markerpositionen entsprechen der Markeranordnung aus Abbildung 1, rechts.

Die Auswertung der eingesetzten Fragebögen ergab, dass beide Verfahren hinsichtlich des Schwierigkeitsgrades, der angezeigten Informationsmenge, der physischen Belastung, des verspürten Arbeitsaufwandes und der Frustration nicht signifikant unterschiedlich bewertet wurden. Die verspürte mentale Belastung war bei der ESK jedoch höher als bei der MSK Methode ($p < 0,05$, t-test).
Weiterhin traten bei einigen Probanden Beschwerden im Kopf- oder Nackenbereich (Kopfschmerzen, Druckgefühl) nach 20-30 minütigem Tragen des OST-HMDs auf. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass von der Durchführung der Kalibrierung bis zum Ende der Messungen zur Überlagerungsgenauigkeit die das Display auf dem Kopf der Probanden möglichst nicht verschoben werden sollte.

3.6. Auswertung und Diskussion

Die Nutzerstudie bestätigte die Hypothese H1, dass die ESK deutlich schneller durchgeführt wurde als die MSK (Faktor 1,7). Im kalibrierten Bereich wurden keine signifikanten Unterschiede in der Überlagerungsgenauigkeit beider Verfahren festgestellt, so dass (H2) ebenfalls bestätigt wurde. Die Nutzerstudie zeigte, dass mittels der hier vorgestellten Durchführungsmethoden der STK Überlagerungsgenauigkeiten von ca. 0,5 cm erreichbar sind. Die Überlagerungsgenauigkeit außerhalb des kalibrierten Bereiches war bei der ESK geringer als bei der MSK. Die mittels der STK ermittelten 2-D Displaykoordinaten unterliegen einer Extrapolation, falls sich die 3-D Eingabewerte außerhalb des kalibrierten Bereiches befinden. Diese ist umso besser, je näher die 3-D Eingabewerte am Tiefenbereich der Kalibrierung liegen. Bei der ESK Methode betrug der mittlere Abstand zwischen der Testtafel in 70 cm Entfernung und Kalibrierbereich ca. 36 cm, bei der MSK Methode nur ca. 17 cm. Daher war der Kalibrierfehler der ESK in der Entfernung von 70 cm deutlich höher als der Kalibrierfehler der MSK. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass die Probanden den Abstand zu einem einzelnen realen Passpunkt schlechter abschätzen konnten als den Abstand zu einer Anordnung mit mehreren Passpunkten. Dies sollte bei der Auswahl einer geeigneten Kalibrierprozedur für Anwendungen mit hohen Genauigkeitsanforderungen innerhalb des kalibrierten Bereichs berücksichtigt werden.
In diesem Versuch wurden nur in zwei Abständen Messungen zur Untersuchung der Überlagerungsgenauigkeit durchgeführt, da die Positionsangabe der virtuellen Rechtecke mittels Laserpointer zeitaufwendig war (ca. 10-15 Minuten pro Kalibiermethode). Eine Alternative zur Positionsangabe der virtuellen Marker würde die Verwendung eines Monitors darstellen, der in verschiedenen Entfernungen aufge-

stellt wird. Die Positionsangabe könnte dann mittels Mauseingabe erfolgen. Dies verspricht eine kürzere Testdauer, da das Anzeichnen des Laserpunktes durch einen Versuchsbetreuer entfällt. Dies setzt jedoch einen Monitor in ausreichender Größe voraus (mindestens 55 cm Bildschirmdiagonale bei einem Testabstand von 120 cm). Bei der Anzeige der Marker auf einem Bildschirm muss zudem sichergestellt werden, dass die genaue Größe der angezeigten Marker bekannt ist.

4. Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde eine Nutzerstudie vorgestellt, in der zwei STK Durchführungsmethoden hinsichtlich Überlagerungsgenauigkeit und Durchführungsdauer verglichen wurden. Im Gegensatz zu Genauigkeitsunter-suchungen mittels Augkamera wurden nutzerbezogene Aspekte während der Kalibrierung berücksichtigt. Innerhalb des kalibrierten Bereiches traten keine signifikanten Unterschiede in der Überlagerungsgenauigkeit beider Verfahren auf. Die Durchführungsdauer der ESK war deutlich geringer als die der MSK. Weiterhin wurde der Kalibrierbereich bei der ESK Methode genauer eingehalten, als bei der MSK Methode. Die ESK wird für Anwendungsszenarien empfohlen, in denen eine schnelle Durchführung der STK erforderlich ist. Beide Verfahren sind für Anwendungsfälle geeignet, für die eine Überlagerungsgenauigkeit von 0,5 cm ausreichend ist. Weitere Arbeiten zur Optimierung der ESK sowie zur automatischen Erfassung und Kompensation des Verrutschen OST-HMDs sind geplant.

5. Fördervermerk

Die Arbeiten zur vorgestellten Thematik wurden teilweise vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Fkz. 01IM08002A) gefördert.

6. Literatur

[TMX07] Tümler, J.; Mecke, R.; Xu, J.: See-Through Kalibrierverfahren für mobile Augmented Reality Assistenzsysteme. In: Augmented und Virtual Reality in der Produktentstehung, Bd. 6, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, 2007.

[TZO03] Tang, A.; Zhou, J.; Owen, C.: Evaluation of Calibration Procedures for Optical See-Through Head-Mounted Displays. In: ISMAR'03, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2003.

[FMS93] Feiner,S; Macintyre, B; Seligmann, D. Knowledge-based Augmented Reality. In: Communications of the ACM. Volume 36, S. 53–62. ACM, New York, NY, USA, 1993.

[MGT+01] McGarrity, E; Genc, Y; Tuceryan, M.;Owen; Navab, A. A new system for online quantitative evaluation of optical see-through augmentation. In: Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, S. 157-166, 2001.

[OZT+04] Owen, C; Zhou, J; Tang, A; Xiao, F. Displayrelative calibration for optical see-through head-mounted displays. In ISMAR '04: Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, S. 70–78, Washington, DC, USA, 2004.

7. Autoren

Bacc. Jens Grubert
Hilfswissenschaftlicher Mitarbeiter

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 40 90 715
Telefax: 0391 40 90 93715
E-Mail: jens.grubert@iff.fraunhofer.de

Dipl.-Ing.-Inf. Johanes Tümler
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 40 90 106
Telefax: 0391 40 90 93715
E-Mail: johannes.tuemler@iff.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Rüdiger Mecke
Leiter Virtual Prototyping (VP)

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 40 90 146
Telefax: 0391 40 90 115
E-Mail: ruediger.mecke@iff.fraunhofer.de



Werkzeuge und Technologien

Besonderheiten der Wahrnehmung bei AR-basierten Ausgabegeräten

Prof. Dr. Anke Huckauf

Lebenslauf



Prof. Dr. phil. habil. Anke Huckauf

Juniorprofessorin Psychophysiologie und Wahrnehmung

Bauhaus-Universität Weimar
Bauhausstr. 11
99423 Weimar

Telefon: 03643 583 710
E-Mail: anke.huckauf@uni-weimar.de

2006	Habilitation, Universität Erlangen-Nürnberg
2005	Erfolgreiche Zwischenevaluation, Bauhaus-Universität Weimar
seit 2003	Juniorprofessorin für Psychophysiologie und Wahrnehmung, Bauhaus-Universität Weimar
1999-2002	Wissenschaftliche Assistentin (C1), Allgemeine und Arbeitspsychologie, RWTH Aachen
1998-1999	Stipendiatin der Robert Bosch-Stiftung; Lektorin, Universität Gdansk, Polen,
1996-1998	Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Allgemeine und Arbeitspsychologie, RWTH Aachen
1996	Promotion zum Dr. phil., summa cum laude
1992-1996	Wissenschaftliche Mitarbeiterin, DFG-Projekt des Instituts für Psychologie der RWTH Aachen und dem CNRS Marseille, Frankreich
1992	Diplom in Psychologie, mit Auszeichnung, RWTH Aachen
1989-1992	Hauptstudium Arbeits-, Betriebs- und Organisationspsychologie, RWTH Aachen
1990-1992	Studentische Hilfskraft, Institut für Allgemeine und Arbeitspsychologie, RWTH Aachen
1987-1989	Grundstudium Psychologie, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

Besonderheiten der Wahrnehmung bei AR-basierten Ausgabegeräten

Prof. Dr. Anke Huckauf, Dipl.-Sys.Wiss. Mario Urbina, PD Dr. Irina Böckelmann, PD Dr. Lutz Schega, Dipl.-Ing. Fabian Doil, Dr. Rüdiger Mecke, Dipl.-Ing.-Inf. Johannes Tümler

1. AR-basierte Ausgabegeräte

Bei Medientechnologien, die auf erweiterten Umgebungen (Augmented Reality) basieren, werden Informationen dem Nutzer zusätzlich zu dem angezeigt, was er real vor sich sieht. Dadurch können dem Betrachter während der Arbeit an einem realen Objekt Informationen eingeblendet werden, ohne dass er sich von diesem Objekt abwenden muss. Dazu werden die Ausgabegeräte auf dem Kopf getragen. Diese Ausgabegeräte finden in der Medizintechnik Anwendung, wobei beispielsweise während eines operativen Eingriffs Informationen über Art oder Ort einer Struktur visuell bereitgestellt werden. Ein anderes Szenario ist die industrielle Fertigung, bei der in allen Bereichen von der Kommissionierung bis zur Montage Hilfen über solch ein kopfgetragenes Ausgabesystem gegeben werden können, ohne dass ein Werker seine Hände oder seine Aufmerksamkeit von einem realen Objekt wegbewegen muss.
Die AR-Ausgabegeräte lassen sich in video see through (VST)- und optical see through (OST)-Geräte unterteilen. Bei den VST-Geräten wird die reale Umgebung über Kameras aufgezeichnet, und die virtuelle Information wird direkt in das Videobild eingebettet. Dadurch wird das akkurate Übereinanderliegen von realer und virtueller Information ermöglicht. Da die Position der Kamera nicht mit der Position der Augen des Nutzers übereinstimmt, wird so auch die Hand-Augen-Koordination gestört und die reale Welt durch die Latenz der Kamera zusätzlich minimal zeitversetzt wahrgenommen. Dies wird häufig als störend, insbesondere für manuelle Arbeiten, empfunden. Bei der OST-Technologie werden Informationen über einen semi-transparenten Spiegel oder direkt auf die Retina projiziert, so dass die Wahrnehmung der realen Umgebung kaum beeinträchtigt ist. Eventuelle Beeinträchtigungen ergeben sich lediglich durch Einschränkungen des Sichtfeldes aufgrund der Anbringung des Projektionssystems am Kopf. Schon allein aufgrund dieser geringeren Nachteile ist die OST-Technologie ein interessanter Kandidat für einen industriellen Einsatz. Allerdings erfordert diese Methode eine hohe räumliche Präzision beim Tracking des Betrachters, damit die eingeblendete Information relativ zur realen Information an dem gewünschten Ort präsentiert wird.
Erste Untersuchungen beim Einsatz kopfbasierter OST-Ausgabegeräte zeigen, dass insbesondere das visuelle System durch diese Technologien belastet wird. Die Symptome, die von Betrachtern geäußert werden, sind besonders Augenbeschwerden sowie Kopfschmerzen (z.B. Tümler et al., 2008). Hier stellt sich die Frage, wodurch diese Beeinträchtigungen zustande kommen.

2. Visuelle Wahrnehmung mit kopfgetragenen OST-Ausgabegeräten

Ziel der AR-Ausgabegeräte ist es, die reale Umgebung mit virtueller Information anzureichern. Die Vorstellung dabei ist, dass die virtuelle Information sich in die reale Umgebung einfügt, d.h., dass Betrachter die virtuelle und reale Information zu einem Bild integrieren. Aus psychologischer Perspektive ist einerseits plausibel, dass Informationen in raum-zeitlicher Nachbarschaft zusammenzufügen sind. Andererseits kann eine vollständige Integration nur dann erfolgen, wenn die Darbietung als einheitlich wahrgenommen werden kann. Dagegen sprechen

allerdings zwei grundlegende Punkte; zum einen das Selbstleuchten der virtuellen Information, zum anderen deren Größen- und Entfernungshinweise.
Das Selbstleuchten der per AR-Gerät eingeblendeten Information ist deshalb problematisch, weil dieses Merkmal bei realen Objekten kaum vorhanden ist. Insofern sollte eine vollständige Integration der Information von dem AR-Gerät und anderer Information höchstens dann erfolgen können, wenn es sich bei der realen Information um Reize auf einem Computermonitor handelt, die ebenfalls selbstleuchtend sind. Für andere reale Objekte sollte die Leuchtstärke der eingeblendeten Information allein ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal darstellen. Ein weiteres wichtiges Unterscheidungsmerkmal ist die Größeninformation, die einen bedeutenden Anteil an der Entfernungsschätzung hat: In unserer realen Welt werden Objekte, die sich vom Betrachter entfernen, auf zunehmend kleinere retinale Areale projiziert. Gleich große Objekte müssen also mit zunehmender Betrachtungsdistanz kleiner abgebildet sein. Bei der AR-Technologie werden nun Objekte, wie bei einem Nachbild, in konstanter retinaler Größe projiziert, unabhängig davon, wo in der Tiefe sie gerade lokalisiert werden. Da die Objekte üblicherweise auf bzw. vor dem nächsten Hintergrund wahrgenommen werden, sind Größeninformationen der virtuellen Objekte nicht zur Entfernungswahrnehmung zu verwenden. Sie führen sogar teilweise zu widersprüchlichen Tiefenhinweisen, wenn die Distanz zu einem Hintergrund vergrößert wird, die Reize aber die gleichen retinalen Areale beanspruchen und somit bei größer werdender Entfernung als größer wahrgenommen werden.

3. Untersuchungen zur Integration von virtuellen und realen Reizen

Wir haben drei Versuchsanordnungen entwickelt, mit denen wir jeweils bestimmte Aspekte der gleichzeitigen Wahrnehmung von Information auf einem AR-Gerät und anderer Information detailliert untersuchen können. Alle Untersuchungen haben folgende Gemeinsamkeiten: Zunächst wurde als reale Hintergrundinformation ein Computermonitor gewählt, um die oben erwähnten Unterschiede, die durch das Selbstleuchten des Mediums entstehen, zu minimieren. Zudem wurde eine Kinnstütze verwendet, damit die Entfernung zwischen dem Betrachter und dem Hintergrund konstant bleibt. Dadurch sollten unterschiedliche Größenveränderungen zwischen virtueller und realer Information bei einer Veränderung der Beobachtungsdistanz ausgeschlossen werden. Es ist also zu erwarten, dass die Informationsintegration unter diesen zwar artifiziellen, aber optimalen Bedingungen gelingen kann.
Bei einer ersten Versuchsanordnung handelte es sich um eine visuelle Suchaufgabe, bei der zu entscheiden ist, ob sich in einer Menge von Reizen ein vorher definierter Zielreiz befindet. Hierbei kann die Menge der Reize entweder auf einem oder auf zwei Medien dargeboten werden, um Effekte des Wechsels zwischen Medien quantifiziert zu können. In einer zweiten Anordnung wurde eine Zweitaufgabe in die visuelle Suche integriert, bei der auf einen seltenen Reiz prioritär reagiert werden muss. Damit haben wir Prozesse angezielt, bei denen die Aufmerksamkeit auf ein Medium (AR-Gerät oder Monitor) gelenkt ist, wobei der kritische Reiz entweder auf dem gleichen Medium oder auf dem anderen präsentiert wird. Ein analoges Anwendungsszenario betrifft die Wahrnehmung von Gefahrensignalen, die entweder auf dem aktuell fokussierten Medium erscheinen oder auf einem anderen. In einer dritten Anordnung wurden Blickbewegungen beim Betrachten von Reizen auf einem Monitor oder auf dem AR-Gerät gemessen.

4. Experiment 1: Visuelle Suche

Um zu untersuchen, inwieweit Informationen von einem AR-Gerät mit denen von einem Computermonitor integriert werden können, wurde eine visuelle Suchaufgabe eingesetzt. Hierbei müssen Betrachter entscheiden, ob sich in einer

Menge von Reizen (O) ein vorher definierter Zielreiz (0) befindet. Die Reize wurden entweder alle auf dem AR-Gerät oder alle auf dem Monitor dargeboten. In zwei weiteren Bedingungen wurde die eine (linke) Hälfte auf dem AR-Gerät und die andere (rechte) Hälfte auf dem Monitor präsentiert und umgekehrt. Die Aufteilung der Reize auf zwei nebeneinander liegende Hälften hat den Vorteil, dass sich die Reize auch bei leichtem Verrutschen des kopfbefestigten Geräts nicht überlappen. Methode: In einer 6*6-Matrix wurden O präsentiert. In der Hälfte aller Darbietungen war eines der O in der mittleren 4*4-Matrix durch eine 0 ersetzt, die es zu entdecken galt (s. Abb1). Als AR-Gerät wurde ein Microvision Nomad ND 2100 verwendet. Der Monitor wurde in Auflösung (800 * 600 Pixel) und Farbe (rot auf schwarz) an das AR-Gerät angeglichen.

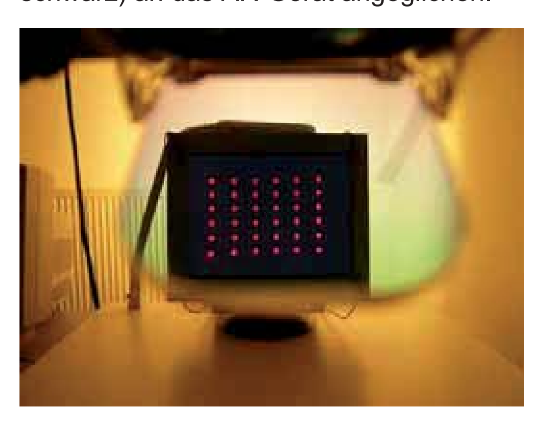


Abb. 1: Blick auf den Monitor mit der Reizvorlage durch das ausgeschaltete AR-Gerät.

Nachdem das AR-Gerät so eingestellt wurde, dass es den gleichen Gesichtsfeldausschnitt wie der Monitor umfasst, wurde die visuelle Suchaufgabe demonstriert. Die Aufgabe war es, mittels Tastendruck so schnell und so genau wie möglich anzugeben, ob sich im Display eine 0 befand oder nicht. Dabei wurde die 0 an je einer der möglichen 16 Zielreizpositionen je einmal dargeboten. Daneben gab es die gleiche Anzahl von Durchgängen ohne Zielreiz. Darüber hinaus wurde die linke Hälfte der Reize entweder auf dem AR-Gerät oder auf dem Monitor präsentiert; ebenso die rechte Hälfte. Daraus resultieren 32 Durchgänge in vier Darbietungsbedingungen, insgesamt also 128 Durchgänge, die in einer Zufallsreihenfolge präsentiert wurden.

Ergebnisse und Diskussion: Die mittlere Bearbeitungsdauer der Suchaufgabe auf dem AR-Gerät erforderte etwa 15% mehr Zeit als auf dem Monitor (s. Abb. 2). Wenn die Reize auf beiden Medien je zur Hälfte präsentiert wurden, dauerte die Aufgabenbearbeitung am längsten. Dies spricht dafür, dass der Wechsel zwischen den Medien Zeit in Anspruch nimmt. Hier stellt sich die Frage, wodurch genau diese Wechselkosten zustande kommen. Bevor diese Frage im Detail untersucht wird, wurde der Medienwechsel in einer weiteren Aufgabe untersucht.

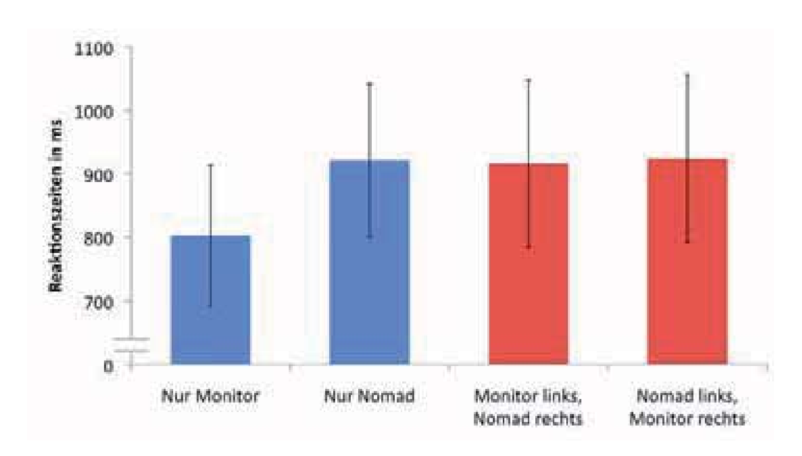


Abb. 2: Reaktionszeiten für die visuelle Suchaufgabe, wenn die Reize auf einem Medium oder hälftig auf beiden Medien dargestellt wurden.

5. Experiment 2: Doppelaufgaben

Eine kritische Frage insbesondere auch für den industriellen Einsatz von AR-Geräten lautet, inwieweit die Verarbeitung von Reizen auf dem AR-Gerät von der Wahrnehmung realer Reize ablenkt und umgekehrt. So sollten die Wechselkosten nicht dazu führen, dass eine Gefahr oder ein Gefahrensignal übersehen wird. Zur Untersuchung dieser Frage wurde ein ähnlicher Versuchsaufbau wie in Experiment 1 gewählt mit dem Unterschied, dass eine zusätzliche Go-NoGo-Aufgabe gestellt wurde. Dabei werden den Versuchspersonen zwei Reize dargeboten, von denen sie auf einen (P) reagieren sollen, auf den anderen (R) jedoch nicht. Dabei wurde die visuelle Suchaufgabe auf dem AR-Gerät oder auf dem Monitor dargeboten; die Go-NoGo-Aufgabe ebenso. Auf diese Weise kann überprüft werden, inwieweit die Reaktionen auf einen Reiz, der auf dem aktuell nicht mit Aufmerksamkeit bedachten Medium präsentiert wird, dadurch beeinträchtigt sind.
Methode: Die visuelle Suche entsprach der in Experiment 1 berichteten Aufgabe. Bei der prioritären GO/NO GO-Aufgabe musste auf ein P mit einer Taste reagiert werden, auf ein R nicht. Die Reize wurden in zufälliger Folge entweder auf dem AR-Gerät oder auf dem Monitor dargeboten. Die Reize der sekundären visuellen Suchaufgabe wurden ebenfalls entweder nur auf dem AR-Gerät oder nur auf dem Monitor präsentiert. Insgesamt wurden 10 Blöcke mit je 32 Durchgängen der visuellen Suche bearbeitet. Die Reize P oder R wurden unvorhersehbar und selten dargeboten (zufällig in Intervallen von 2 bis 6 sek.).

Ergebnisse und Diskussion: Die Befunde replizieren die Beobachtungen aus Experiment 1 gleich in mehrerer Hinsicht: Zunächst sind die Leistungen generell schlechter, wenn die Reize auf dem AR-Gerät dargeboten werden als wenn sie auf dem Monitor präsentiert werden. Zudem verursacht der Wechsel zwischen den Darbietungsmedien Kosten von durchschnittlich etwa 10% (s. Abb. 3). Erneut stellt sich also die Frage, wodurch diese Wechselkosten zustande kommen.

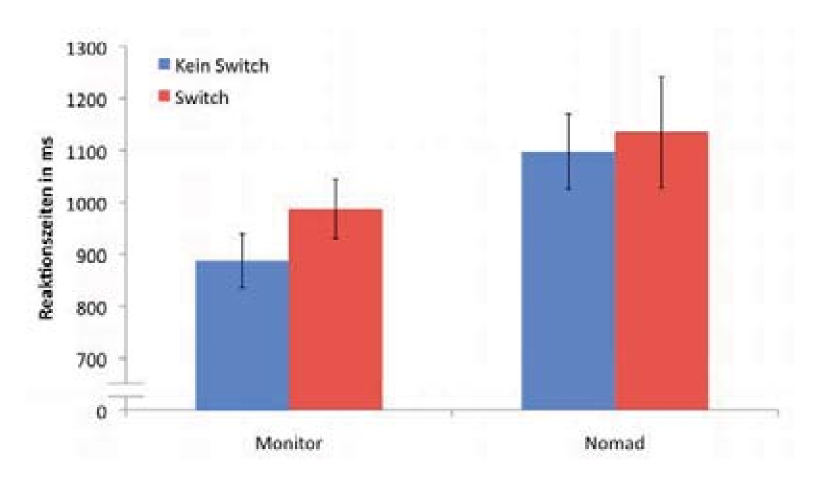


Abb. 3: Reaktionszeiten in der visuellen Suchaufgabe, wenn die prioritäre Doppelaufgabe auf dem gleichen (Kein Switch) oder dem anderen Medium (Switch) präsentiert wurde

6. Experiment 3: Vergenzmessung

In beiden vorangegangenen Experimenten zeigten sich Wechselkosten beim Übergang von einem Medium zum anderen. Dies ist umso erstaunlicher als die zwei kritischen Punkte, das Selbstleuchten des Mediums wie auch die ungewohnte Größenveränderung von Reizen bei veränderter Entfernung des Hintergrunds vom Betrachter, in beiden Experimenten als Wirkfaktoren ausgeschlossen wurden. Hier stellt sich die Frage, wodurch die Wechselkosten zustande kommen. Eine Annahme dazu betrifft die wahrgenommene Tiefe: Idealerweise sollten die Reize auf dem AR-Gerät, wenn sie vor einem Monitor betrachtet werden, auf dem Monitor lokalisiert werden. Tatsächlich erscheint, bei genauer Betrachtung, ein Reiz, der auf dem AR-Gerät präsentiert wird, jeweils kurz VOR dem jeweils angeschauten Hintergrund, in unserem Fall also dem Monitor, zu liegen. Allerdings ist unklar, inwieweit dieser relativ geringe Tiefenunterschied überhaupt registriert wird und für die beobachteten Effekte verantwortlich sein kann. Um zu überprüfen, ob dieser geringe Tiefenunterschied vom visuellen System erfasst wird, haben wir die Vergenz bestimmt. Dazu wurde der Schnittpunkt beider Blickachsen bestimmt, während der Blick auf einem Kreuz ruht, das entweder auf dem Monitor dargeboten wird oder auf dem AR-Gerät, wenn der Blick auf den gleichen Monitor gerichtet ist.
Methode: Den Versuchspersonen wurde neben dem AR-Gerät eine Blickregistrierung EyeLink II (SR Research) auf dem Kopf befestigt. Nachdem die Betrachter das AR-Gerät und den Monitor in räumliche Übereinstimmung gebracht haben, wurde die Blickregistrierung auf den Monitor mit neun Punkten kalibriert. Ein Kreuz, das zentral auf dem Monitor sowie auf dem AR-Gerät präsentiert wurde, war für eine Minute zu fixieren.

Ergebnisse und Diskussion: Wie sich zeigt, bestehen tatsächlich Unterschiede in den Vergenzen zwischen beiden Medien (s.Abb. 4): Der Schnittpunkt der Blickachsen liegt bei dem AR-Gerät weiter vorne als bei dem Monitor. Das zeigt, dass auch ein geringer Unterschied in der Tiefenwahrnehmung vom visuellen System erfasst und verarbeitet wird. Man mag einwenden, dass ein relativ geringer Unterschied kaum für die visuelle Wahrnehmung relevant sein dürfte. Dem widersprechen allerdings aktuelle Befunde zur Abnahme der Sehschärfe in der Tiefe (Huckauf, Müsseler & Fährmann, 2009): Diese Befunde zeigen, dass die Sehschärfe in der Tiefe sehr schnell abfällt, so dass die Vergenzeinstellung vom Betrachter sehr genau vorzunehmen ist.

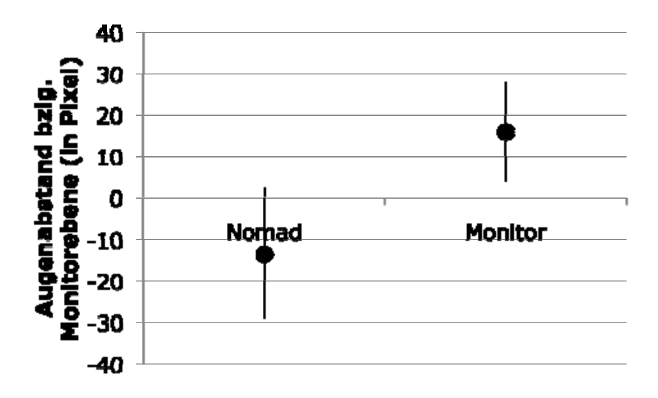


Abb. 4: Vergenz beim Betrachten eines zentralen Kreuzes auf dem AR-Gerät und auf dem Monitor

7. Diskussion

In drei Experimenten mit dem Nomad AR-Gerät führten Wechsel zwischen verschiedenen Medien zu Leistungseinbußen. So zeigten sich Kosten in einer visuellen Suchaufgabe, bei der die Reize nicht einheitlich dargeboten wurden. Das gleiche galt für Doppelaufgaben, wenn die Reize auf einem anderen als dem aktuell mit Aufmerksamkeit bedachten Medium dargeboten wurden. Diese Leistungseinbußen betragen etwa 10% bis 20%. Sie sind umso bemerkenswerter, wenn berücksichtigt wird, dass wesentliche Unterschiede zwischen AR-Gerät und Hintergrund, nämlich die selbstleuchtenden Eigenschaften der Reizdarbietung sowie die unklare Größeninformation bei Distanzveränderung, im Versuchsaufbau keine Rolle spielen. Anders gesagt ist zu erwarten, dass die Wechselkosten zwischen Medien in der realen Nutzung der AR-Geräte eher höher ausfallen als hier gezeigt.
Hier stellt sich die Frage, wodurch diese Leistungseinbußen zustande kommen. Die Annahme, dass es sich dabei um Unterschiede in der Tiefenwahrnehmung handelt, scheint sich durch die Beobachtungen in Experiment 3 zu erhärten: Offensichtlich verarbeitet das visuelle System die Reize von AR-Geräten in einer anderen Tiefe als die Reize, die auf dem jeweiligen Hintergrund betrachtet werden. Das würde bedeuten, dass das visuelle System bei der gleichzeitigen Darbietung von virtuellen und realen Reizen ständig die Einstellung von Vergenz und Akkomodation ändern muss. Dies könnte die visuelle Beanspruchung erklären, die in zahlreichen Studien beobachtet wurde. Ausgehend von dieser Annahme wird klar, dass eine Integration der Reize zwischen den Medien kaum möglich ist.
Für die Anwendung von AR-Geräten stellt sich die Frage, wie relevant die Informationsintegration jeweils ist. Wichtig ist, dass das Wechseln zwischen dem AR-Gerät und einem Hintergrund mit Kosten einhergeht. Allerdings wird durch das Gerät auch Zeit gespart, wenn dadurch beispielsweise das Nachschlagen in einem Buch vermieden werden kann. Inwieweit der Einsatz lohnenswert erscheint, wird aufgabenabhängig zu beantworten sein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Wechselkosten auch für die Wahrnehmung von Gefahrensignalen bestehen.
Eine weitere Frage, die insbesondere für den industriellen Einsatz der AR-Geräte relevant ist, lautet, inwieweit berichtete Belastungsfaktoren, insbesondere visueller Natur, mit dem Gerät auftreten. Wie sich in Experiment 1 und 2 zeigt, ist die Leistung jeweils schlechter, wenn die Aufgaben auf dem AR-Gerät bearbeitet werden müssen als wenn sie auf dem Monitor bearbeitet werden. Hier muss noch unklar bleiben, worauf dieser Effekt zurückzuführen ist. Man mag vermuten, dass Monitore allen Versuchspersonen weitaus geläufiger und vertrauter sind als AR-Geräte. Alleine dieser unspezifische Effekt kann zu einer schlechteren Leistung beitragen. Dann sollte dieser Effekt mit zunehmender Tragedauer geringer werden. Eine andere Möglichkeit ist, dass die spezifischen Merkmale des verwendeten AR-Gerätes für die Leistungsunterschiede verantwortlich sind. Auch diese Annahme

wird aktuell von uns überprüft, indem wir die Untersuchungen mit anderen AR-Geräten replizieren. Eine dritte Möglichkeit allerdings besteht, dass die Leistungsunterschiede auf generelle Faktoren beim Sehen mit AR-Geräten zurückzuführen sind. Tatsächlich deuten die Befunde aus Experiment 3 darauf hin: Sie deuten an, dass die Lokalisation der virtuellen Information störanfällig ist. Geht man davon aus, dass neben der Vergenz, also der Einstellung der Blickachsen, auch die Akkomodation, also die Krümmung der Linse, auf eine bestimmte Tiefe eingestellt wird, liegt die Vermutung nahe, dass das Zusammenspiel von Vergenz und Akkomodation, die bei realen Objekten in Kopplung arbeiten, bei AR-Geräten gestört ist. Die Größenordnung dieser Störung über die Zeit zu quantifizieren sowie die Erlernbarkeit einer Dissoziation zwischen beiden Mechanismen zu untersuchen bleiben die Hauptanliegen für unser weiteres Vorgehen.

8. Fördervermerk

Die Arbeiten zur vorgestellten Thematik wurden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Fkz. 01IM08001Ä) gefördert.

9. Literatur

Huckauf, A., Müsseler, J. & Fährmann, F. (2009). Sehschärfeverteilung in der dritten Dimension. In: Eder, Rothermund, Schweinberger, Steffens & Wiese: 51. Tagung experimentell arbeitender Psychologen, 82.

Tümler, J., Mecke, R., Schenk, M., Huckauf, A., Doil, F., Paul, G., Pfister, E. A., Böckelmann, I. und Roggentin, A. (2008): Mobile Augmented Reality in Industrial Applications: Approaches for Solution of User-Related Issues. In: Proceedings of the Seventh IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008 (ISMAR08), 87-90.

10. Autoren

Prof. Dr. Anke Huckauf
Juniorprofessorin, Psychophysiologie und Wahrnehmung

Bauhaus-Universität Weimar
Bauhausstr. 11
99423 Weimar

Telefon: 03643 583 710
E-Mail: anke.huckauf@uni-weimar.de

Dipl.-Sys. Wiss. Mario Urbina
Psychophysiologie und Wahrnehmung

Bauhaus-Universität Weimar
Bauhausstr. 11
99423 Weimar

Telefon: 03643 583 710
E-Mail: mario.urbina@uni-weimar.de

PD Dr. Irina Böckelmann
Arbeitsmedizin

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Leipziger Str. 44
39120 Magdeburg

Telefon: 0391 67 150 56
E-Mail: irina.boeckelmann@medizin.uni-magdeburg.de

PD Dr. Lutz Schega
Arbeitsmedizin

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Leipziger Str. 44
39120 Magdeburg

Telefon: 0391 67 150 56
E-Mail: lutz.schega@medizin.uni-magdeburg.de

Dipl.-Ing. Fabian Doil
Konzernforschung

Volkswagen AG
Konzernforschung, VRlab
Postbox 1511
38436 Wolfsburg

Telefon: 05361 949 089
E-Mail: fabian.doil@volkswagen.de

Dipl.-Ing.-Inf. Johannes Tümler
Konzernforschung

Volkswagen AG
Konzernforschung, VRlab
Postbox 1511
38436 Wolfsburg

Telefon: 05361 949 089
E-Mail: fabian.doil@volkswagen.de

Dr. Rüdiger Mecke
Leiter des Kompetenzfeldes Virtual Prototyping

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Telefon: 0391 4090 146
E-Mail: ruediger.mecke@iff.fraunhofer.de

Autoren

Awiszus, Birgit, Prof. Dr.-Ing.
Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Technische Universität Chemnitz
Reichenhainer Straße 70
09126 Chemnitz
Deutschland

Bade, Christian, Dipl.-Ing.-Inform.
Volkswagen AG
Planung Karosseriebau
Postfach 01627
38436 Wolfsburg
Deutschland

Bauer, Sebastian, Dipl.-Inf.
imk automotive GmbH
Vorentwicklung
Annaberger Straße 73
09111 Chemnitz
Deutschland

Barthel, Corinna, Dipl.-Ing.
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät für Maschinenbau
Universitätsplatz 2,
Gebäude 10
39106 Magdeburg
Deutschland

Biahmou, Alain, Dr.
PROSTEP AG
Dolivostraße 11
64293 Darmstadt
Deutschland

Bockholt, Ulrich, Dr.-Ing.
Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet GRIS / Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung
Fraunhoferstraße 5
64283 Darmstadt
Deutschland

Böckelmann, Irina, PD Dr.
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Arbeitsmedizin
Leipziger Str. 44
39120 Magdeburg
Deutschland

Boy, Guy André, Prof. PhD
Florida Institute for Human and Machine Cognition
40 South Alcaniz Street
Florida 32502 Pensacola
USA

Bracht, Uwe, Prof. Dr.-Ing.
Technische Universität Clausthal, Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit
Anlagenprojektierung und Materialflusslogistik
Leibnizstraße 32
38678 Clausthal-Zellerfeld
Deutschland

Claussen, Peter, Dipl.-Ing.
BMW AG Werk Leipzig, i.R.
Neuhäusl 1
93155 Hemau
Deutschland

Clobes, Hans-Joachim, Dr.
Denkfabrik im Wissenschaftshafen
RKW Sachsen-Anhalt GmbH
Werner-Heisenberg Str. 1
39108 Magdeburg
Deutschland

Doil, Fabian, Dipl.-Ing. (FH)
Volkswagen AG
Konzernforschung Virtuelle Techniken
Postfach 01511
38436 Wolfsburg
Deutschland

Dörr, Sebastian, Dipl.-Inform.
ITandFactory GmbH
Auf der Krautweide 32
65812 Bad Soden
Deutschland

Eger, Ulrich, Dipl.-Ing.
ISG-Industrielle Steuerungstechnik GmbH
Bereichsleiter Simulationstechnik
Rosenbergstr. 28
70174 Stuttgart
Deutschland

Ellermann, Mathias
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Regionalen Kompetenzzentrums Harz Virtual Engineering für Produkte und Prozesse (RKVE)
Dornbergsweg 2
38855 Wernigerode
Deutschland

Endig, Martin, Dr.
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Fischer-Hirchert, Ulrich H. P., Prof. Dr. rer. nat. et Ing. habil.
HarzOptics GmbH
Dornbergsweg 2
38855 Wernigerode
Deutschland

Fokken, Matthias
fleXilution GmbH
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln
Deutschland

Franke, Axel, Dipl.-Ing.
BASF SE
WLD/BA - L950
67056 Ludwigshafen
Deutschland

Frohriep, Susanne, Dr.
Leggett & Platt Automotive Group Europe
Frankenstraße 150A
90461 Nürnberg
Deutschland

Autoren

Fröhlich, Arnulf, Dr.
PROSTEP AG
CA-Prozesse
Dolivostraße 11
64293 Darmstadt
Deutschland

Gabbert, Ulrich, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c.
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
Fakultät für Maschinenbau
Universitätsplatz 2,
Gebäude 10
39106 Magdeburg
Deutschland

Garstenauer, Michael, Dr.
KEBA AG
Gewerbepark Urfahr
A-4041 Linz
Österreich

Goebbels, Gernot, Dr.
fleXilution GmbH
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln
Deutschland

Göbel, Martin, Dr.
fleXilution GmbH
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln
Deutschland

Göttlicher, Christoph, Dr.
Adam Opel GmbH
GME Integr., Safety, Reg.
VCE & Perf.
IPC R3-04
65423 Rüsselsheim
Deutschland

Gramatke, Arno, Dipl.-Ing.
Zentrum für Lern- und Wissensmanagement
Lehrstuhl Informations-management im Maschinenbau
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Dennewartstraße 27
52068 Aachen
Deutschland

Graupner, Tom-David, Dipl.-Ing.
Dassault Systèmes
Deutschland AG
Wankelstraße 4
70563 Stuttgart
Deutschland

Grubert, Jens, Bacc.
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Haase, Tina, Dipl.-Ing.
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Hambürger, Timo
fleXilution GmbH
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln
Deutschland

Hedrich, Jens
fleXilution GmbH
Gottfried-Hagen-Str. 60
51105 Köln
Deutschland

Henning, Klaus, Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Zentrum für Lern- und Wissensmanagement
Lehrstuhl Informations-management im Maschinenbau
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Dennewartstraße 27
52068 Aachen
Deutschland

Henkel, Udo, Dr.-Ing.
HENKEL + ROTH GmbH
Gewerbepark Am Wald 3d
98693 Ilmenau
Deutschland

Hoffmann, Alexander, Dipl.-Ing.
ARC Solutions GmbH
Annaberger Str. 73
09111 Chemnitz
Deutschland

Hoffmann, Hilko, Dr. sc. nat.
Deutsches Forschungs-zentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH
Forschungsbereich Agenten und Simulierte Realität
Stuhlsatzenhausweg 3/
Campus Gebäude D 3 2
66123 Saarbrücken
Deutschland

Hoffmeyer, Andreas, Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Volkswagen AG
Planung Marke Volkswagen
Postfach 01619
38436 Wolfsburg
Deutschland

Huckauf, Anke, Prof. Dr.
Bauhaus-Universität Weimar
Psychophysiologie und Wahrnehmung
Bauhausstr. 11
99423 Weimar
Deutschland

Husung, Stephan, Dipl.-Ing.
Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Fachgebiet Konstruktionstechnik
Max-Planck-Ring 12
98693 Ilmenau
Deutschland

Kahn, Svenja, Dipl.-Inform.
Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung
Fraunhoferstraße 5
64283 Darmstadt
Deutschland

Autoren

Karras, Ulrich, Dr.
FESTO Didactic GmbH & Co. KG
Produktmanagement
Rechbergstr. 3
73770 Denkendorf
Deutschland

Komarnicki, Przemyslaw, Dr.-Ing.
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Prozess- und Anlagentechnik
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Krieger, Roland, Dipl.-Inf.
ABB AG Forschungszentrum
Wallstadter Str. 59
68526 Ladenburg
Deutschland

Kulp, Steffen, Dr.-Ing.
Volkswagen AG
Konzernforschung
Brieffach 1275
38436 Wolfsburg
Deutschland

Leidholdt, Wolfgang, Doz. Dr. sc. techn.
imk automotive GmbH
Fachbereichs Vorentwicklung
Annaberger Straße 73
09111 Chemnitz
Deutschland

Löffler, Alexander, M. Sc.
Universität des Saarlandes
Computer Graphics Group
Campus E1 1
66123 Saarbrücken
Deutschland

Matthias, Björn, Dr.
ABB AG Forschungszentrum
Robotic Automation
Wallstadter Str. 59
68526 Ladenburg
Deutschland

Mecke, Rüdiger, Dr.-Ing.
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Virtual Prototyping
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Menke, Tobias
CADFEM GmbH
Geschäftsstelle Hannover
Pelikanstraße 13
30177 Hannover
Deutschland

Mittermayer, Christoph, Dipl.-Ing.
KEBA AG
Gewerbepark Urfahr
A-4041 Linz
Österreich

Nusseck, Hans-Günther
eyevis GmbH
VR Produktentwicklung
Hundsschleestraße 23
72766 Reutlingen
Deutschland

Paul, Rolf, Dr.
B.I.M.-Consulting mbH
Röntgenstraße 13
39108 Magdeburg
Deutschland

Peinemann, Florian, Dipl.-Ing.
Volkswagen AG
Innovation & IT im Werkzeugbau Fahrzeuge
38436 Wolfsburg
Deutschland

Pinner, Sebastian, Dipl.-Ing. (FH)
Volkswagen AG
Konzernproduktionsplanung
Technologie-Management
Brieffach 1275
38436 Wolfsburg
Deutschland

Radkowski, Rafael, Dr.-Ing.
Heinz-Nixdorf-Institut
Fachgebiet Produktentstehung
Fürstenalle 11
33102 Paderborn
Deutschland

Rambke, Martin, Prof. Dr.-Ing.
Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel
Fachbereich Maschinenbau
Institut für Produktionstechnik
Salzdahlumer Straße 46/48
38302 Wolfenbüttel
Deutschland

Rapp, Stefan, Dr.
Dr. Stefan Rapp
Uhlandstraße 10
78559 Gosheim
Deutschland

Reckmann, Bernd, Dr.-Ing.
Siemens Product Lifecycle Management Software (DE) GmbH
EMEA Automotive Industry Practice Director
Hohenstaufenring 48-54
50674 Köln
Deutschland

Reinboth, Christian, Dipl.-Wirtsch.-Inf. (FH)
HarzOptics GmbH
Dornbergsweg 2
38855 Wernigerode
Deutschland

Richter, Dirk, Dipl.-Wirtsch.-Inform.
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät für Informatik
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg
Deutschland

Autoren

Riedel, Michael, Dipl.-Ing.
Howaldtswerke-Deutsche
Werft GmbH
Ein Unternehmen der
ThyssenKrupp Marine
Systems AG
Werftstraße 112-114
24143 Kiel
Deutschland

Roßmann, Jürgen, Prof. Dr.-Ing.
Institut für Mensch-
Maschine-Interaktion (MMI)
der RWTH Aachen
Institutsleitung
Ahornstr. 55
52074 Aachen
Deutschland

Roth, Matthias, Dipl.-Ing.
HENKEL + ROTH GmbH
Gewerbepark Am Wald 3d
98693 Ilmenau
Deutschland

Röck, Sascha, Prof. (jun.) Dr.-Ing.
Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen
(ISW)
Universität Stuttgart
Seidenstr. 36
70174 Stuttgart
Deutschland

Röhl, Horst, Dipl.-Ing.
Volkswagen AG
Systemanalyse und HLS-
Entwicklung
Brieffach 1832
38436 Wolfsburg
Deutschland

Rössel, Christian, Dipl.-Ing.
HENKEL + ROTH GmbH
Gewerbepark Am Wald 3d
98693 Ilmenau
Deutschland

Rubinstein, Dmitri, Dipl.-Inform.
Deutsches Forschungs-
zentrum für Künstliche
Intelligenz (DFKI) GmbH
Computer Graphics
Stuhlsatzenhausweg
3/Campus Gebäude D 3 2
66123 Saarbrücken
Deutschland

Rudolph, Stefan
Engineering System
International GmbH
Mergenthalerallee 15-21
65760 Eschborn
Deutschland

Runde, Christoph, Dr.-Ing.
Virtual Dimension Center
Kompetenzzentrum für
virtuelle Realität und
Kooperatives Engineering
w.V.
Auberlenstraße 13
70736 Fellbach
Deutschland

Sauer, Steffen, Dipl.-Inf.
Fraunhofer-Institut für
Fabrikbetrieb und
-automatisierung
Geschäftsfeld Mess- und
Prüftechnik
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Schega, Lutz, PD Dr.
Otto-von-Guericke-
Universität Magdeburg
Arbeitsmedizin
Leipziger Str. 44
39120 Magdeburg
Deutschland

Schenk, Michael, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h.
Fraunhofer-Institut für
Fabrikbetrieb und
-automatisierung
Institutsleitung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Scheifele, Dieter Michael, Dr.-Ing.
ISG-Industrielle
Steuerungstechnik GmbH
Rosenbergstr. 28
70174 Stuttgart
Deutschland

Schilberg, Daniel, Dipl.-Ing.
Zentrum für Lern- und
Wissensmanagement
Lehrstuhl
Informationsmanagement im
Maschinenbau
Rheinisch-Westfälische
Technische Hochschule
Aachen
Dennewartstraße 27
52068 Aachen
Deutschland

Schönle, Herbert, Dipl.-BW (BA)
PTC Parametric Technology
GmbH
Posener Straße 1
71065 Sindelfingen
Deutschland

Schumann, Marco, Dipl.-Inf.
Fraunhofer-Institut für
Fabrikbetrieb und
-automatisierung
Geschäftsstelle VIVERA /
AVILUSplus
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Sekler, Peter, Dipl.-Ing.
Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen
(ISW)
Universität Stuttgart
Seidenstr. 36
70174 Stuttgart
Deutschland

Autoren

Slusallek, Philipp, Prof. Dr.
Deutsches Forschungs-
zentrum für Künstliche
Intelligenz (DFKI) GmbH
Forschungsbereich Agenten
und Simulierte Realität
Stuhlsatzenhausweg
3/Campus Gebäude D 3 2
66123 Saarbrücken
Deutschland

Smieja, Tomasz, M.Sc.
Otto-von-Guericke-
Universität Magdeburg
Fakultät für Elektrotechnik
und Informationstechnik
(FEIT)
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg
Deutschland

Spillner, Andrea, Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Technische Universität
Clausthal
Institut für Maschinelle
Anlagentechnik und
Betriebsfestigkeit
Leibnizstraße 32
38678 Clausthal-Zellerfeld
Deutschland

Steinbeck, Jochen
Engineering System
International GmbH
Mergenthalerallee 15-21
65760 Eschborn
Deutschland

Steinbeck-Behrens, Cord, Dr.-Ing.
CADFEM GmbH
Geschäftsstelle Hannover
Pelikanstraße 13
30177 Hannover
Deutschland

Stern, Oliver, Dipl.-Inform.
Dortmunder Initiative zur
rechnerintegrierten
Fertigung (RIF) e.V.
Joseph-von-Fraunhofer-
Straße 20
44227 Dortmund
Deutschland

Stjepandic, Josip, Dr.
PROSTEP AG
Competence Centers CA
Technologie
Dolivostraße 11
64293 Darmstadt
Deutschland

Struck, Robert, Dipl.-Ing.
Volkswagen AG
Forschung Werkstoffe und
Fertigungsverfahren
38436 Wolfsburg
Deutschland

Termath, Wilhelm, Dipl.-Päd.
Fraunhofer-Institut für
Fabrikbetrieb und
-automatisierung
Kompetenzzentrum Training
und Technologie
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Trier, Matthias, Dr.-Ing.
Technische Universität Berlin
Systemanalyse und EDV
Franklinstraße 28/29
10587 Berlin
Deutschland

Tümler, Johannes, Dipl.-Ing.-Inf.
Fraunhofer-Institut für
Fabrikbetrieb und
- automatisierung
Virtual Prototyping
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Uhlmann, Gerd, Dr. rer. nat.
BG Chemie
Zentrum für Arbeitssicherheit
Obere Mühle 1
67487 Maikammer
Deutschland

Urbina, Mario, Dipl.-Sys. Wiss.
Bauhaus-Universität Weimar
Psychophysiologie und
Wahrnehmung
Bauhausstr. 11
99423 Weimar
Deutschland

Weber, Christian, Prof. Dr.-Ing.
Technische Universität
Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Max-Planck-Ring 12
98693 Ilmenau
Deutschland

Weber, Irene, Dr.
Dr. Stefan Rapp
Softwareentwicklung
Uhlandstraße 10
78559 Gosheim
Deutschland

Winge, André, Dipl.-Inf.(FH)
Fraunhofer-Institut für
Fabrikbetrieb und -
automatisierung
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Verhoeven, Hubert, Dr.-Ing.
Volkswagen AG
Innovation & IT im
Werkzeugbau Fahrzeuge
38436 Wolfsburg
Deutschland

Zabel, Henning, Dipl.-Inform.
Universität Paderborn
Fachgruppe Entwurf
paralleler Systeme
C-LAB
Fürstenallee 11
33102 Paderborn
Deutschland

Aussteller der begleitenden Fachausstellung

ACOD GmbH
Nuthedamm 14
14974 Ludwigsfelde

Telefon: 03378 518068 0
Telefax: 03378 518068 30
E-Mail: info@acod.de
www.acod.de



eyevis GmbH
Hundsschleestraße 23
72766 Reutlingen

Telefon: 07121 43303 0
Telefax: 07121 43303 22
E-Mail: info@eyevis.de
www.eyevis.de



Dr. Stefan Rapp
Uhlandstraße 10
78559 Gosheim

Telefon: 07426 933883
Telefax: 07426 933882
E-Mail: rapp@conante.com
www.conante.de



realicon GmbH
Ernst-Ludwig-Straße 7
64646 Heppenheim

Telefon: 06252 7901 0
Telefax: 06252 7901 98
E-Mail: info@realicon.de
www.realicon.de



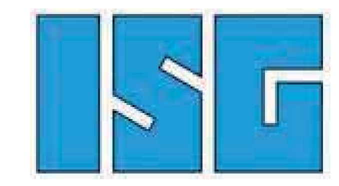
PTC - Parametric Technology GmbH
Edisonstraße 8
85716 Unterschleißheim

Telefon: 089 32106 0
Telefax: 089 32106 150
www.ptc.com



ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH
Rosenbergstraße 28
70174 Stuttgart

Telefon: 0711 22992 30
Telefax: 0711 22992 25
E-Mail: info@isg-stuttgart.de
www.isg-stuttgart.de



BKR Ingenieurbüro GmbH
Werk 3 - Im Büropark
92442 Wackersdorf

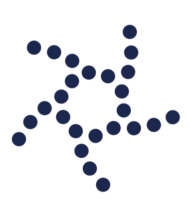
Telefon: 09431 7446 0
Telefax: 09431 554 10
E-Mail: info@bkrgmbh.de
www.bkrgmbh.de
www.bkr-laserscanning.de



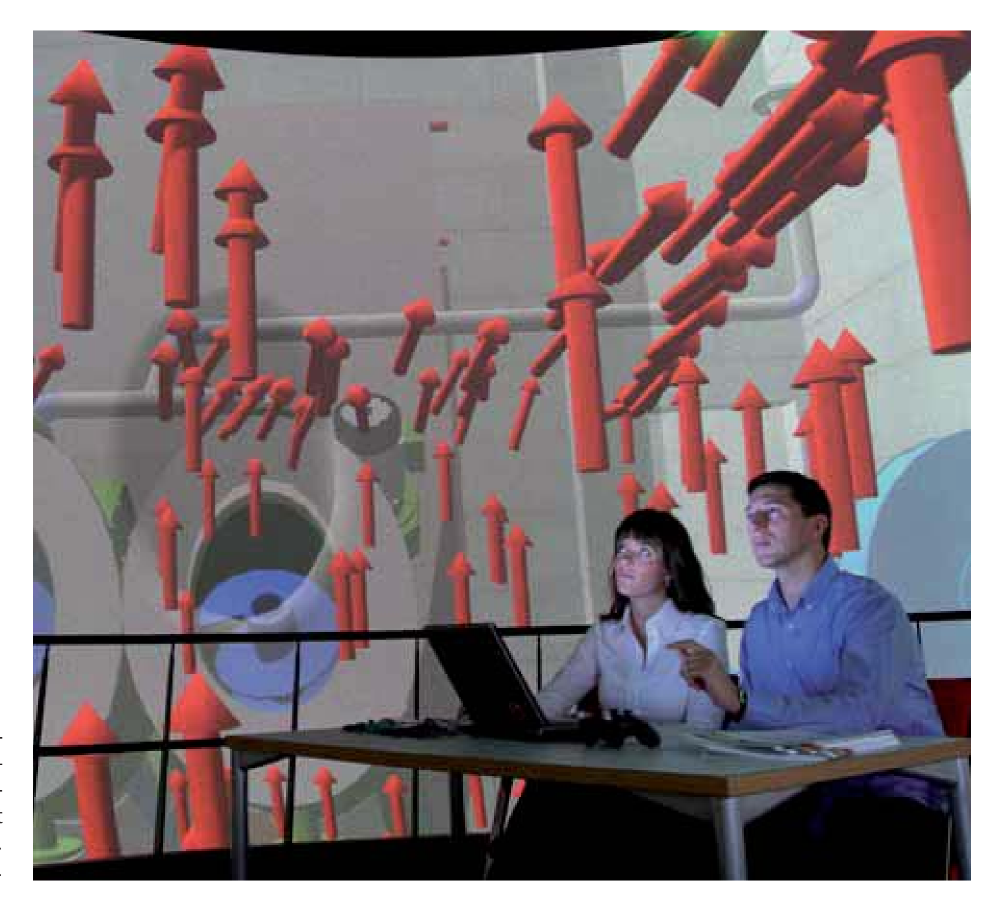
Wir bedanken uns



ACOD
AUTOMOTIVE CLUSTER OSTDEUTSCHLAND e.V.



Forschung für die Praxis



Virtual Reality bietet viele Vorteile für die Projektierung, die Konstruktion und den sicheren Anlagenbetrieb. Hier eine Visualisierung im Elbedom des VDTC des Fraunhofer IFF – möglich ist die Darstellung in jedem beliebigen Maßstab. Foto: Dirk Mahler, Fraunhofer IFF.

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h.
Michael Schenk
Institutsleiter

Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Deutschland

Telefon +49 391 4090-0
Telefax +49 391 4090-596
ideen@iff.fraunhofer.de
www.iff.fraunhofer.de
www.vdtc.de

Das Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF forscht und entwickelt auf den Schwerpunktgebieten Virtual Engineering, Logistik und Materialflusstechnik, Automatisierung sowie Prozess- und Anlagentechnik. Zu seinen Kunden für die Auftragsforschung gehören die öffentliche Hand, internationale Industrieunternehmen, die Dienstleistungsbranche und Unternehmen der klein- und mittelständischen Wirtschaft.

Im Bereich der virtuellen Technologien entwickelt das Fraunhofer IFF Lösungen für alle Schritte in der Prozesskette. Mit dem Virtual Development and Training Centre VDTC stehen Spezialisten-Know-how und hochmodernes Equipment zur Verfügung, um das durchgängige digitale Produkt von der ersten Idee über die Entwicklung, die Fertigung, den Vertrieb bis zur Inbetriebnahme und den Betrieb sicherzustellen.



Die Prozess- und Anlagentechniker sind Experten auf dem Gebiet der energetischen Nutzung von Biomasse. Foto: Dirk Mahler, Fraunhofer IFF.

Schwerpunkte liegen beim Virtual Engineering für die Entwicklung von Produkten, Prozessen und Systemen, bei Methoden der FEM-Berechnung, bei virtueller Fabriklayout- und Montageplanung, der Qualifizierung und beruflichen Aus- und Weiterbildung und der Erstellung von virtuell-interaktiven Handbüchern, Ersatzteilkatalogen und Produktdokumentationen.

Für sich wandelnde und hochkomplexe Produktionsnetzwerke optimiert das IFF Fabrikanlagen, Produktionssysteme und logistische Netze. Führend ist das Magdeburger Fraunhofer-Institut bei der Realisierung von RFID- und Telematik-basierten Lösungen zur Identifikation, Überwachung und Steuerung von Warenflüssen. Mit dem LogMotionLab steht eines der am besten ausgestatteten RFID-Labore Europas zur Verfügung, um branchentypische Anwendungen zu entwickeln, zu testen und zu zertifizieren.

Intelligente Überwachungslösungen, die dezentrale Speicherung von Informationen am Objekt und die Verknüpfung von Informations- und Warenfluss ermöglichen fälschungssichere Identifikation von Objekten, gesicherte Warenketten und deren lückenlose Dokumentation.

Im Bereich der Automatisierung verfügt das Fraunhofer IFF über umfassende Kompetenz bei der Entwicklung von Automatisierungs- und Robotersystemen. Schwerpunkte liegen bei Servicerobotern für Inspektion und Reinigung, Automatisierungslösungen für den Life-Science-Bereich, für Produktion und Logistik und Robotik für Entertainment und Training. Um Automatisierungskonzepte voranzutreiben, realisiert das Fraunhofer IFF Mess- und Prüfsysteme und integriert Sensorik, optische Messtechnik und industrielle Bildverarbeitung in Produktionsprozesse. Sensorik und Systeme zur Messwerterfassung und -verarbeitung sind das Werkzeug, um reale Größen in digitaler Form abzubilden und bilden damit eine Voraussetzung für automatisierte Prozesse.

Thermische Anlagen zur Energiegewinnung aus Biomasse und Abfallstoffen, Wirbelschichttechnologien, Prozesssimulation und Lösungen für effizienten Anlagenbetrieb bilden zentrale Inhalte der Prozess- und Anlagentechnik. Mit Technologien zur Wandlung und Erzeugung von Energie forscht das IFF in einem Sektor mit hohem Zukunftspotenzial.

Das Fraunhofer IFF ist in nationale und internationale Forschungs- und Wirtschaftsnetzwerke eingebunden und kooperiert eng mit der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und weiteren Hochschulen und Forschungsinstitutionen der Region.



Clevere Logistikkonzepte für die unternehmerische Praxis – mit modernsten Technologien entwickelt man am Fraunhofer IFF Lösungen für die Lokalisierung, Navigation, Identifikation und Überwachung beweglicher Güter aller Art.
Foto: Dirk Mahler, Fraunhofer IFF.



Inspektions- und Reinigungssystem für den Abwasserkanal Emscher.
Foto: Bernd Liebl, Fraunhofer IFF.

Fraunhofer
IFF

Impressum

Tagungsband
»Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme
6. Fachtagung zur Virtual Reality«
12. IFF-Wissenschaftstage, 16.-18. Juni 2009, Magdeburg

Veranstalter: Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Herausgeber: Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Michael Schenk

Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Telefon 0391 4090-0 | Telefax 0391 4090-596
ideen@iff.fraunhofer.de
http://www.iff.fraunhofer.de | http://www.vdtc.de

Redaktion: Michaela Schumann, M.A.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

ISBN 978-3-8396-0023-8

Umschlaggestaltung: Bettina Rohrschneider

Titelbildgestaltung: Bettina Rohrschneider